

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP04/018604

International filing date: 14 December 2004 (14.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2003-415893
Filing date: 15 December 2003 (15.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 10 February 2005 (10.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

15.12.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

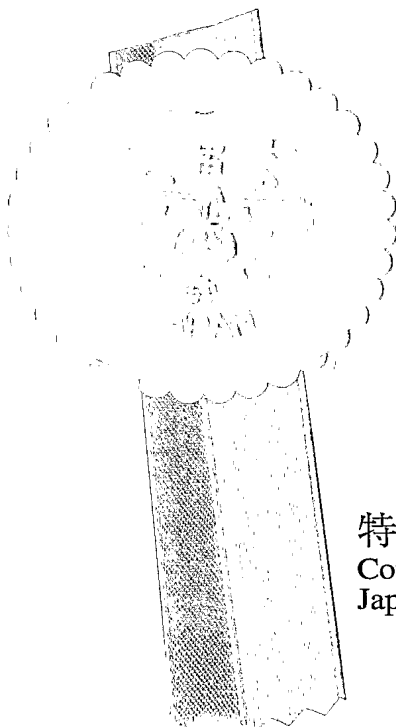
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 2 月 1 5 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 4 1 5 8 9 3
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 4 1 5 8 9 3]

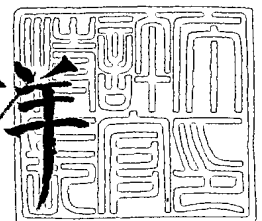
出 願 人 株式会社ニコン
Applicant(s):



特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

2 0 0 5 年 1 月 2 7 日

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 03-01480
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/027
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内
 【氏名】 加山 泰永
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内
 【氏名】 荒井 大
【特許出願人】
 【識別番号】 000004112
 【氏名又は名称】 株式会社ニコン
【代理人】
 【識別番号】 100102901
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 立石 篤司
 【電話番号】 042-739-6625
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 053132
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9408046

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

投影光学系と基板との間に液体を供給し、前記投影光学系と前記液体とを介して前記基板上にパターンを転写する投影露光装置であって、

基板が載置されるとともに、その基板を保持して移動可能な基板テーブルと；

前記基板テーブルの位置情報を計測する位置計測系と；

前記液体の供給に起因して前記基板と前記基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれを補正する補正装置と；を備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】

前記補正装置は、前記基板テーブルの形状変化により生じる位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 に記載の投影露光装置。

【請求項 3】

前記基板テーブルは、位置決め用の基準部材を有しており、

前記補正装置は、前記基準部材と前記基板との位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の投影露光装置。

【請求項 4】

前記補正装置は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記投影光学系と前記基板との間隔を補正することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の投影露光装置。

【請求項 5】

前記補正装置は、前記液体の物理量に応じて前記位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 6】

前記液体の物理量は、前記液体の圧力と前記液体の表面張力との少なくとも一方であることを特徴とする請求項 5 に記載の投影露光装置。

【請求項 7】

前記補正装置は、前記基板テーブルの振動により生じる位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 に記載の投影露光装置。

【請求項 8】

前記パターンが形成されたマスクが載置され、そのマスクを保持して移動可能なマスクステージを更に備え、

前記補正装置は、前記基板テーブルと前記マスクステージとの少なくとも一方に与える推力を変更して前記位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 9】

前記補正装置は、フィードフォワード制御により前記推力を変更する制御装置を備えていることを特徴とする請求項 8 に記載の投影露光装置。

【請求項 10】

前記補正装置は、前記基板上に転写された前記パターンの転写像の位置計測結果に基づいて前記位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 11】

前記補正装置は、シミュレーション結果に基づいて前記位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 12】

表面に液体が供給される基板を移動可能に保持する基板テーブルを有したステージ装置であって、

前記基板テーブルの位置情報を計測する位置計測装置と；

前記液体の供給に起因して前記基板と前記基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれを補正する補正装置と；を備えたことを特徴とするステージ装置。

【請求項 13】

前記補正装置は、前記基板テーブルの形状変化により生じる位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 2 に記載のステージ装置。

【請求項 1 4】

前記基板テーブルは、位置決め用の基準部材を有しており、

前記補正装置は、前記基準部材と前記基板との位置ずれを補正することを特徴とする請求項 1 2 又は 1 3 に記載のステージ装置。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影露光装置及びステージ装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、投影露光装置及びステージ装置に係り、更に詳しくは、半導体素子、液晶表示素子等の電子デバイスの製造におけるリソグラフィ工程で用いられる露光装置及び該露光装置などの精密機械の試料ステージとして好適なステージ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子（集積回路等）、液晶表示素子等の電子デバイスを製造するリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンの像を投影光学系を介して、レジスト（感光剤）が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の感光性の基板（以下、「基板」又は「ウエハ」と呼ぶ）上の各ショット領域に転写する投影露光装置が使用されている。この種の投影露光装置としては、従来、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）が多用されていたが、近年ではレチクルとウエハとを同期走査して露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ（スキャナとも呼ばれる））も比較的多く用いられるようになってきた。

【0003】

投影露光装置が備える投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短くなるほど、また投影光学系の開口数（NA）が大きいほど高くなる。そのため、集積回路の微細化に伴い投影露光装置で使用する露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大してきている。そして、現在主流の露光波長は、KrFエキシマレーザの248nmであるが、更に短波長のArFエキシマレーザの193nmも実用化されている。

【0004】

また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度（DOF）も重要となる。解像度R、及び焦点深度 δ はそれぞれ以下の式で表される。

【0005】

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \dots\dots (1)$$

$$\delta = k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad \dots\dots (2)$$

【0006】

ここで、 λ は露光波長、NAは投影光学系の開口数、 k_1 、 k_2 はプロセス係数である。（1）式、（2）式より、解像度Rを高めるために、露光波長 λ を短くして、開口数NAを大きく（大NA化）すると、焦点深度 δ が狭くなることが分かる。投影露光装置では、オートフォーカス方式でウエハの表面を投影光学系の像面に合わせ込んで露光を行っているが、そのためには焦点深度 δ はある程度広いことが望ましい。そこで、従来においても位相シフトレチクル法、変形照明法、多層レジスト法など、実質的に焦点深度を広くする提案がなされている。

【0007】

上記の如く従来の投影露光装置では、露光光の短波長化及び投影光学系の大NA化によって、焦点深度が狭くなってきている。そして、集積回路の一層の高集積化に対応するために、露光波長は将来的に更に短波長化することが確実視されており、このままでは焦点深度が狭くなり過ぎて、露光動作時のマージンが不足するおそれがある。

【0008】

そこで、実質的に露光波長を短くして、かつ空気中に比べて焦点深度を大きく（広く）する方法として、液浸法が提案されている。この液浸法は、投影光学系の下面とウエハ表面との間を水又は有機溶媒等の液体で満たし、液体中での露光光の波長が、空気中の $1/n$ 倍（ n は液体の屈折率で通常1.2～1.6程度）になることを利用して解像度を向上すると共に、その解像度と同一の解像度が液浸法によらず得られる投影光学系（このような投影光学系の製造が可能であるとして）に比べて焦点深度を n 倍に拡大する、すなわち

空气中に比べて焦点深度を n 倍に拡大するものである。

【0009】

この液浸法を利用した従来技術の一つとして、「基板を所定方向に沿って移動させる際に、投影光学系の基板側の光学素子の先端部とその基板の表面との間を満たすように、その基板の移動方向に沿って所定の液体を流すようにした、投影露光方法及び装置」が知られている（例えば、下記特許文献1参照）。

【0010】

この特許文献1に記載の投影露光方法及び装置によると、液浸法による高解像度かつ空气中と比べて焦点深度が大きくなった露光を行うことができるとともに、投影光学系と基板とが相対移動しても、投影光学系と基板との間に液体を安定に満たしておくこと、すなわち保持することができる。

【0011】

しかし、従来の液浸法では、投影光学系の基板側の光学素子の先端部と基板の表面との間に液体が供給される、すなわち基板表面の一部に液体が供給されるので、この液体による圧力（表面張力と水の自重とがその主な要因となる）により基板や該基板が載置された基板テーブルに変形が生じたり、投影光学系と基板との間隔が変動したりすることがあった。また、液体の供給に伴い基板テーブルに振動が生じることもあった。

【0012】

上述した基板や基板テーブルの変形は、レーザ干渉計によって計測される基板テーブル上の基板の位置計測の誤差要因となる。これは、レーザ干渉計は、基準となる反射面（例えば移動鏡反射面）と基板との位置関係が一定であることを前提として、前記反射面の位置を計測することで、間接的に基板の位置を計測するものだからである。

【0013】

特に、走査型露光装置の場合には、ステッパと異なり、投影光学系と基板との間隔の変動は、投影光学系に固定されたフォーカスセンサの出力に基づいて調整される投影光学系の光軸方向に関する基板の位置誤差の要因となる。これは、基板ステージを移動しつつ露光が行われる走査型露光装置の場合、その露光中に投影光学系の光軸方向に関する基板の位置誤差が生じた場合に、ステッパと同様に、フォーカスセンサの出力に基づいてフィードバック制御により、光軸方向に関する基板の位置を基板ステージを介して制御するのは、その基板のフォーカス制御に制御遅れが生じる蓋然性が高かったからである。

【0014】

これまでは、上述した液体の供給に伴って生じる位置ずれ等は、それほど問題にされなかったが、集積回路の更なる高集積化に伴い、投影露光装置に要求される重ね合わせ精度は、将来的にますます厳しくなるため、上述した液体の供給に起因する位置ずれ等が基板の位置制御性を低下させるのを効果的に抑制することも必要である。

【0015】

【特許文献1】国際公開第99/49504号パンフレット

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、上述したような事情の下でなされたもので、第1の観点からすると、投影光学系と基板との間に液体を供給し、前記投影光学系と前記液体とを介して前記基板上にパターンを転写する投影露光装置であって、基板が載置されるとともに、その基板を保持して移動可能な基板テーブルと；前記基板テーブルの位置情報を計測する位置計測系と；前記液体の供給に起因して前記基板と前記基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれを補正する補正装置と；を備える投影露光装置である。

【0017】

ここで、「液体の供給に起因して前記基板と前記基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれ」とは、液体の供給に起因して生じる、位置計測系によって直接的又は間接的に計測される、基板及び基板テーブルの少なくとも一方の位置情報の誤差を含む。また

、位置ずれは、基板テーブルの移動面内方向及びその移動面に直交する方向のいずれの方向の位置ずれをも含む。

【0018】

これによれば、補正装置により、液体の供給に起因して基板と基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれが補正される。このため、乾燥式の投影露光装置と同様に液体の供給に起因する基板と基板テーブルとの少なくとも一方の位置ずれが存在しない状況下において、基板に対して液浸法を利用した高精度な露光が実現される。

【0019】

この場合において、前記補正装置は、前記基板テーブルの形状変化により生じる位置ずれを補正することとすることができる。

【0020】

本発明の投影露光装置では、前記基板テーブルは、位置決め用の基準部材を有しており、前記補正装置は、前記基準部材と前記基板との位置ずれを補正することとすることができる。

【0021】

本発明の投影露光装置では、前記補正装置は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記投影光学系と前記基板との間隔を補正することとすることができる。

【0022】

本発明の投影露光装置では、前記補正装置は、前記液体の物理量に応じて前記位置ずれを補正することとすることができる。この場合において、前記液体の物理量は、前記液体の圧力と前記液体の表面張力との少なくとも一方であることとすることができる。

【0023】

本発明の投影露光装置では、前記補正装置は、前記基板テーブルの振動により生じる位置ずれを補正することとすることができる。

【0024】

本発明の投影露光装置では、前記パターンが形成されたマスクが載置され、そのマスクを保持して移動可能なマスクステージを更に備え、前記補正装置は、前記基板テーブルと前記マスクステージとの少なくとも一方に与える推力を変更して前記位置ずれを補正することとすることができる。この場合において、前記補正装置は、フィードフォワード制御により前記推力を変更する制御装置を備えていることとすることができる。

【0025】

本発明の投影露光装置では、前記補正装置は、前記基板上に転写された前記パターンの転写像の位置計測結果に基づいて前記位置ずれを補正することとすることもできるし、あるいは前記補正装置は、シミュレーション結果に基づいて前記位置ずれを補正することとすることもできる。

【0026】

本発明は、第2の観点からすると、表面に液体が供給される基板を移動可能に保持する基板テーブルを有したステージ装置であって、前記基板テーブルの位置情報を計測する位置計測装置と；前記液体の供給に起因して前記基板と前記基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれを補正する補正装置と；を備えるステージ装置である。

【0027】

これによれば、補正装置により、液体の供給に起因して基板と基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれが補正される。このため、基板の表面に供給される液体の影響を受けることなく、位置計測装置の計測結果に基づいて、基板及び基板テーブルを移動することが可能となる。

【0028】

本発明のステージ装置では、前記補正装置は、前記基板テーブルの形状変化により生じる位置ずれを補正することとすることができる。

【0029】

本発明のステージ装置では、前記基板テーブルは、位置決め用の基準部材を有しており

、前記補正装置は、前記基準部材と前記基板との位置ずれを補正することとすることができ
る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

以下、本発明の一実施形態について、図1～図8に基づいて説明する。

【0031】

図1には、本発明の一実施形態に係る投影露光装置100の概略構成が示されている。
この投影露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆる
スキャニング・ステッパ）である。この投影露光装置100は、照明系10、マスクとし
てのレチクルRを保持するレチクルステージRST、投影ユニットPU、基板としてのウ
エハWが載置される基板テーブルとしてのウエハテーブル30を有するステージ装置50
、及びこれらの制御系等を備えている。

【0032】

前記照明系10は、例えば特開平6-349701号公報（対応する米国特許第5, 5
34, 970号）などに開示されるように、光源、オプティカルインテグレータ等を含む
照度均一化光学系、ビームスプリッタ、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラ
インド等（いずれも不図示）を含んで構成されている。この照明系10では、回路パター
ン等が描かれたレチクルR上のレチクルブラインドで規定されたスリット状の照明領域部
分を照明光（露光光）ILによりほぼ均一な照度で照明する。ここで、照明光ILとして
は、一例としてArFエキシマレーザ光（波長193nm）が用いられている。なお、照
明光ILとして、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）などの遠紫外光、あるいは
超高圧水銀ランプからの紫外域の輝線（g線、i線等）を用いることも可能である。また
、オプティカルインテグレータとしては、フライアイレンズ、ロッドインテグレータ（内
面反射型インテグレータ）あるいは回折光学素子などを用いることができる。

【0033】

前記レチクルステージRST上には、レチクルRが、例えば真空吸着により固定されて
いる。レチクルステージRSTは、例えばリニアモータ等を含むレチクルステージ駆動部
11（図1では図示せず図7参照）によって、照明系10の光軸（後述する投影光学系P
Lの光軸AXに一致）に垂直なXY平面内で微小駆動可能であるとともに、所定の走査方
向（ここでは図1における紙面内左右方向であるY軸方向とする）に指定された走査速度
で駆動可能となっている。

【0034】

レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置は、レチクルレーザ干渉計（以下、
「レチクル干渉計」という）16によって、移動鏡15を介して、例えば0.5～1nm
程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上にはY軸
方向に直交する反射面を有する移動鏡とX軸方向に直交する反射面を有する移動鏡とが設
けられ、これらの移動鏡に対応してレチクルY干渉計とレチクルX干渉計とが設けられて
いるが、図1ではこれらが代表的に移動鏡15、レチクル干渉計16として示されている。
なお、例えば、レチクルステージRSTの端面を鏡面加工して反射面（移動鏡15の反
射面に相当）を形成しても良い。また、レチクルステージRSTの走査方向（本実施形態
ではY軸方向）の位置検出に用いられるX軸方向に伸びた反射面の代わりに、少なくとも
1つのコーナーキューブ型ミラー（例えばレトロリフレクタ）を用いても良い。ここで、
レチクルY干渉計とレチクルX干渉計の一方、例えばレチクルY干渉計は、測長軸を2軸
有する2軸干渉計であり、このレチクルY干渉計の計測値に基づきレチクルステージRST
のY位置に加え、Z軸回りの回転方向である θ_z 方向の回転も計測できるようになって
いる。

【0035】

レチクル干渉計16の計測値は、ステージ制御装置19に送られ、ステージ制御装置1
9では、このレチクル干渉計16の計測値に基づいてレチクルステージRSTのX、Y、
 θ_z 方向の位置を算出するとともに、この算出された位置情報を主制御装置20に供給す

る。ステージ制御装置 19 では、主制御装置 20 からの指示に応じ、レチクルステージ RST の位置に基づいてレチクルステージ駆動部 11 を介してレチクルステージ RST を駆動制御する。

【0036】

レチクル R の上方には、X 軸方向に所定距離隔てて一対のレチクルアライメント検出系 12 (但し、図 1 においては紙面奥側のレチクルアライメント検出系 12 は不図示) が配置されている。各レチクルアライメント検出系 12 は、ここでは図示が省略されているが、それぞれ照明光 IL と同じ波長の照明光にて検出対象のマークを照明するための落射照明系と、その検出対象のマークの像を撮像するための検出系とを含んで構成されている。検出系は結像光学系と撮像素子とを含んでおり、この検出系による撮像結果 (すなわちレチクルアライメント検出系 12 によるマークの検出結果) は、主制御装置 20 に供給されている。この場合、落射照明系から射出された照明光をレチクル R 上に導き、且つその照明によりレチクル R から発生する検出光をレチクルアライメント検出系 12 の検出系に導くための不図示のミラー (落射用ミラー) が照明光 IL の光路上に挿脱自在に配置されており、露光シーケンスが開始されると、レチクル R 上のパターンをウエハ W 上に転写するための照明光 IL の照射の前に、主制御装置 20 からの指令に基づいて不図示の駆動装置により落射用ミラーは照明光 IL の光路外に退避される。

【0037】

前記投影ユニット PU は、レチクルステージ RST の図 1 における下方に配置されている。投影ユニット PU は、鏡筒 40 と、該鏡筒 40 内に所定の位置関係で保持された複数の光学素子、具体的には Z 軸方向の共通の光軸 AX を有する複数のレンズ (レンズエレメント) から成る投影光学系 PL とを備えている。投影光学系 PL としては、例えば両側テレセントリックで所定の投影倍率 (例えば $1/4$ 倍又は $1/5$ 倍) の屈折光学系が使用されている。このため、照明系 10 からの照明光 IL によってレチクル R の照明領域が照明されると、このレチクル R を通過した照明光 IL により、投影ユニット PU (投影光学系 PL) を介してその照明領域内のレチクル R の回路パターンの縮小像 (回路パターンの一部の縮小像) が表面にレジスト (感光剤) が塗布されたウエハ W 上に形成される。

【0038】

また、本実施形態の露光装置 100 では、後述するように液浸法を適用した露光を行うため、投影光学系 PL を構成する最も像面側 (ウエハ W 側) の光学素子としてのレンズ 42 (図 3 参照) の近傍には、該レンズ 42 を保持する鏡筒 40 の先端を取り囲む状態で、液体給排ユニット 32 が取り付けられている。なお、この液体給排ユニット 32 及びこれに接続された配管系の構成等については後に詳述する。

【0039】

投影ユニット PU の側面には、オフアクシス・アライメント系 (以下、「アライメント系」と略述する) AS が配置されている。このアライメント系 AS としては、例えばウエハ上のレジストを感光させないブロードバンドな検出光束を対象マークに照射し、その対象マークからの反射光により受光面に結像された対象マークの像と不図示の指標 (アライメント系 AS 内に設けられた指標板上の指標パターン) の像とを撮像素子 (CCD 等) を用いて撮像し、それらの撮像信号を出力する画像処理方式の FIA (Field Image Alignment) 系のセンサが用いられている。なお、アライメント系 AS としては、FIA 系に限らず、コヒーレントな検出光を対象マークに照射し、その対象マークから発生する散乱光又は回折光を検出する、あるいはその対象マークから発生する 2 つの回折光 (例えば同次数の回折光、あるいは同方向に回折する回折光) を干渉させて検出するアライメントセンサを単独であるいは適宜組み合わせることは勿論可能である。このアライメント系 AS の撮像結果は、主制御装置 20 へ出力されている。

【0040】

前記ステージ装置 50 は、ウエハステージ WST、該ウエハステージ WST 上に設けられたウエハホルダ 70、ウエハステージ WST を駆動するウエハステージ駆動部 24 等を備えている。前記ウエハステージ WST は、投影光学系 PL の図 1 における下方で、不図

示のベース上に配置され、ウエハステージ駆動部 24 を構成する不図示のリニアモータ等によって X Y 方向へ駆動される X Y ステージ 31 と、該 X Y ステージ 31 上に載置され、ウエハステージ駆動部 24 を構成する不図示の Z・チルト駆動機構によって、Z 軸方向、及び X Y 面に対する傾斜方向（X 軸回りの回転方向（ θ_x 方向）及び Y 軸回りの回転方向（ θ_y 方向））へ微小駆動される前記ウエハテーブル 30 とを備えている。このウエハテーブル 30 上に前記ウエハホルダ 70 が搭載され、該ウエハホルダ 70 によってウエハ W が真空吸着等によって固定されている。

【0041】

このウエハホルダ 70 は、図 2 の斜視図に示されるように、ウエハ W が載置される領域（中央の円形領域）の周囲部分のうち、正方形のウエハテーブル 30 の一方の対角線上に位置する 2 つのコーナーの部分それぞれがそれぞれ突出し、他方の対角線上に位置する 2 つのコーナー部分が前述の円形領域より一回り大きい円の $1/4$ の円弧状となる、特定形状の本体部 70 A と、この本体部 70 A にほぼ重なるようにウエハ W の載置される領域の周囲に配置された 4 枚の補助プレート 22 a ~ 22 d と、を備えている。これらの補助プレート 22 a ~ 22 d の表面は、ウエハ W 表面とほぼ同一の高さ（両者の高さの差は、最大でも 1 mm 程度）とされている。

【0042】

ここで、図 2 に示されるように、補助プレート 22 a ~ 22 d のそれぞれとウエハ W との間には、隙間 D が存在するが、隙間 D の寸法は、3 mm 以下になるように設定されている。また、ウエハ W には、その一部にノッチ（V 字状の切欠き）が存在するが、このノッチの寸法は、隙間 D より更に小さく 1 mm 程度であるから、図示は省略されている。

【0043】

また、補助プレート 22 a には、その一部に円形開口が形成され、その開口内に、基準マーク板 FM が隙間がないように嵌め込まれている。基準マーク板 FM はその表面が、補助プレート 22 a と同一面とされている。基準マーク板 FM の表面には、少なくとも一对のレチクルアライメント用基準マーク及びアライメント系 AS のベースライン計測用の基準マーク（いずれも不図示）等が形成されている。すなわち、基準マーク板 FM は、ウエハテーブル 30 の位置決め用の基準部材の役目も果たしている。

【0044】

図 1 に戻り、前記 X Y ステージ 31 は、走査方向（Y 軸方向）の移動のみならず、ウエハ W 上の複数のショット領域を前記照明領域と共役な露光領域に位置させることができるように、走査方向に直交する非走査方向（X 軸方向）にも移動可能に構成されており、ウエハ W 上の各ショット領域を走査（スキャン）露光する動作と、次ショットの露光のための加速開始位置（走査開始位置）まで移動する動作（ショット領域間移動動作）とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作を行う。

【0045】

ウエハテーブル 30 の X Y 平面内での位置（Z 軸回りの回転（ θ_z 回転）を含む）は、そのウエハテーブル 30 の上面に設けられた移動鏡 17 を介して、ウエハレーザ干渉計（以下、「ウエハ干渉計」と呼ぶ）18 によって、例えば 0.5 ~ 1 nm 程度の分解能で常時検出されている。ここで、ウエハテーブル 30 上には、ウエハ W がウエハホルダ 70 を介して吸着されて固定されている。従って、ウエハテーブル 30 に変形が生じたりしない限り、移動鏡 17 とウエハ W との位置関係は一定の関係に保たれているので、移動鏡 17 を介してウエハテーブル 30 の位置を計測することは、移動鏡 17 を介してウエハ W の位置を間接的に計測することになる。すなわち、移動鏡 17 の反射面は、ウエハ W の位置を計測する基準ともなっており、移動鏡 17 は、ウエハ W の位置を計測するための基準部材となっている。

【0046】

ここで、実際には、ウエハテーブル 30 上には、例えば図 2 に示されるように、走査方向（Y 軸方向）に直交する反射面を有する Y 移動鏡 17 Y と非走査方向（X 軸方向）に直交する反射面を有する X 移動鏡 17 X とが設けられ、これに対応してウエハ干渉計も X 移

動鏡 17 X に垂直に干渉計ビームを照射する X 干渉計と、Y 移動鏡 17 Y に垂直に干渉計ビームを照射する Y 干渉計とが設けられているが、図 1 ではこれらが代表的に移動鏡 17、ウエハ干渉計 18 として示されている。なお、ウエハ干渉計 18 の X 干渉計及び Y 干渉計は、ともに測長軸を複数有する多軸干渉計であり、これらの干渉計によって、ウエハステージ WST（より正確には、ウエハテーブル 30）の X、Y 位置及びヨーイング（Z 軸回りの回転である θ_z 回転）は勿論、ピッチング（X 軸回りの回転である θ_x 回転）、ローリング（Y 軸回りの回転である θ_y 回転）をも計測することも可能である。なお、例えば、ウエハテーブル 30 端面を鏡面加工して反射面（移動鏡 17 X、17 Y の反射面に相当）を形成しても良い。また、多軸干渉計は 45° 傾いてウエハテーブル 30 に設置される反射面を介して、投影光学系 PL が載置される架台（不図示）に設置される反射面にレーザビームを照射し、投影光学系 PL の光軸方向（Z 軸方向）に関する相対位置情報を検出するようにしても良い。

【0047】

ウエハ干渉計 18 の計測値は、ステージ制御装置 19 に送られている。ステージ制御装置 19 では、ウエハ干渉計 18 の計測値に基づいて、ウエハテーブル 30 の X、Y 位置、及び θ_z 回転を算出する。また、ウエハ干渉計 18 の出力に基づいてウエハテーブル 30 の θ_x 回転、 θ_y 回転の算出可能である場合には、それらの回転によって生じるウエハテーブル 30 の XY 面内の位置誤差を補正したウエハテーブル 30 の X、Y 位置を算出する。そして、ステージ制御装置 19 で算出されたウエハテーブル 30 の X、Y 位置、及び θ_z 回転の情報が、主制御装置 20 に供給されている。ステージ制御装置 19 では、主制御装置 20 の指示に応じ、ウエハテーブル 30 の上記位置情報に基づき、ウエハステージ駆動部 24 を介してウエハテーブルを制御する。

【0048】

なお、本実施形態のステージ制御装置 19 の内部には、ウエハステージ制御系（これについては後に詳述する）とレチクルステージ制御系（不図示）とが構築されている。

【0049】

次に、液体給排ユニット 32 について、図 3 及び図 4 に基づいて説明する。図 3 には、液体給排ユニット 32 が、鏡筒 40 の下端部及び配管系とともに断面図で示されている。また、図 4 には、図 3 の B-B 線断面図が示されている。

【0050】

図 3 に示されるように、投影ユニット PU の鏡筒 40 の像面側の端部（下端部）には他の部分に比べて直径の小さい小径部 40 a が形成されており、この小径部 40 a の先端が下方に行くにつれてその直径が小さくなるテーパ部 40 b とされている。この場合、小径部 40 a の内部に投影光学系 PL を構成する最も像面側のレンズ 42 が保持されている。このレンズ 42 は、その下面が光軸 AX に直交する XY 面に平行とされている。

【0051】

前記液体給排ユニット 32 は、正面（及び側面）から見て円筒状の形状を有しており、その中央部には、図 4 に示されるように、鏡筒 40 の小径部 40 a を上方（+Z 方向）から下方（-Z 方向）へ挿入可能な開口 32 a が上下方向に形成されている。この開口 32 a は、X 軸方向一側と他側の一部に他の部分に比べてその直径が大きな円弧状部 33 a、33 b が設けられた全体として概略円形の開口である（図 4 参照）。この開口 32 a の円弧状部 33 a、33 b の内壁面は、図 3 に示されるように、上端部から下端部近傍まではほぼ一定の直径を有しており、それより下の部分では下方に行くにつれてその直径が小さくなるようなテーパ状とされている。この結果、液体給排ユニット 32 の開口 32 a の円弧状部 33 a、33 b の内壁面のそれぞれと鏡筒 40 の小径部 40 a のテーパ部 40 b の外面との間に、上から見て僅かに末広（下から見て僅かに先細）の液体供給口がそれぞれ形成されている。以下の説明では、これらの液体供給口を、円弧状部 33 a、33 b と同一の符号を用いて、適宜「液体供給口 33 a、液体供給口 33 b」と記述するものとする。

【0052】

前記円弧状部 33 a、33 b それぞれの内壁面と鏡筒 40 の小径部 40 a との間には、図 3 及び図 4 から分かるように、平面視（上方又は下方から見て）円弧状の空隙がそれぞれ形成されている。これらの空隙内に、ほぼ等間隔で複数本の供給管 52 の一端部が上下方向に挿入され、各供給管 52 の一端側の開口端は、液体供給口 33 a 又は液体供給口 33 b に臨んでいる。

【0053】

前記各供給管 52 の他端は、バルブ 62 b をそれぞれ介して、液体供給装置 74 にその一端が接続された供給管路 66 の他端にそれぞれ接続されている。液体供給装置 74 は、液体のタンク、加圧ポンプ、温度制御装置等を含んで構成され、主制御装置 20 によって制御される。この場合、対応するバルブ 62 b が開状態のとき、液体供給装置 74 が作動されると、例えば露光装置 100（の本体）が収納されているチャンバ（図示省略）内の温度と同程度の温度に温度制御装置によって温調された液浸用の所定の液体が、各供給管 52 及び液体供給口 33 a、33 b を介して、液体給排ユニット 32 及レンズ 42 とウエハ W 表面との間の隙間内に供給される。図 5 には、このようにして、液体が供給された状態が示されている。

【0054】

なお、以下では、各供給管 52 に設けられたバルブ 62 b を纏めて、バルブ群 62 b とも記述する（図 7 参照）。

【0055】

上記の液体としては、ここでは、ArF エキシマレーザ光（波長 193.3 nm の光）が透過する超純水（以下、特に必要な場合を除いて、単に「水」と記述する）を用いるものとする。超純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できると共に、ウエハ上のフォトリソストや光学レンズ等に対する悪影響がない利点がある。また、超純水は環境に対する悪影響がないと共に、不純物の含有量が極めて低いため、ウエハの表面及びレンズ 42 の表面を洗浄する作用も期待できる。

【0056】

水の屈折率 n は、ほぼ 1.47 である。この水の中では、照明光 IL の波長は、 $193 \text{ nm} \times 1/n = \text{約 } 131 \text{ nm}$ に短波長化される。

【0057】

液体給排ユニット 32 の下端面には、前記円弧状部 33 a、33 b それぞれの外側に、下方から見てほぼ半円弧状の所定深さの凹部 32 b₁、32 b₂ がそれぞれ形成されている。これらの凹部 32 b₁、32 b₂ の下端部近傍は、上から見て末広（下から見て先細）の断面形状にそれぞれ形成され、液体回収口となっている。以下の説明では、適宜、これらの液体回収口を、凹部 32 b₁、32 b₂ と同一の符号を用いて「液体回収口 32 b₁、液体回収口 32 b₂」と記述するものとする。

【0058】

液体給排ユニット 32 の凹部 32 b₁、32 b₂ 内部の底面（上面）には、上下方向の貫通孔が所定間隔で形成され、各貫通孔に回収管 58 の一端がそれぞれ挿入されている。各回収管 58 の他端は、バルブ 62 a をそれぞれ介して、液体回収装置 72 にその一端が接続された回収管路 64 の他端にそれぞれ接続されている。液体回収装置 72 は、液体のタンク及び吸引ポンプ等を含んで構成され、主制御装置 20 によって制御される。この場合、対応するバルブ 62 a が開状態のとき、前述の液体給排ユニット 32 及レンズ 42 とウエハ W 表面との間の隙間内の水が液体回収口 32 b₁、32 b₂ 及び各回収管 58 を介して液体回収装置 72 によって回収される。なお、以下では、各回収管 58 に設けられたバルブ 62 a を纏めて、バルブ群 62 a とも記述するものとする（図 7 参照）。

【0059】

なお、上記各バルブとしては、開閉の他、その開度の調整が可能な調整弁（例えば流量制御弁）などが用いられている。これらのバルブは、主制御装置 20 によって制御される（図 7 参照）。

【0060】

なお、液体給排ユニット32は、スクリュ（不図示）によって、鏡筒40の底部に固定されている（図4参照）。そして、この鏡筒40に取り付けられた状態では、液体給排ユニット32は、図3からもわかるように、その下端面がレンズ42の下面（鏡筒40の最下端面）と同一面となっている。但し、これに限らず、液体給排ユニット32は、その下端面がレンズ42の下面より高く設定されていても良いし、低く設定されていても良い。

【0061】

本実施形態の露光装置100では、更に、ウエハWのいわゆるオートフォーカス、オートレベリングのための、焦点位置検出系が設けられている。以下、この焦点位置検出系について図6に基づいて説明する。

【0062】

図6において、レンズ42と鏡筒40のテーパ部40bとの間にはレンズ42と同一素材から成り、該レンズに密着された一对のプリズム44A、44Bが設けられている。

【0063】

更に、鏡筒40の小径部40aを除く大径部40cの下端の近傍には、鏡筒40の内部と外部とを連通する水平方向に延びる一对の貫通孔40d、40eが形成されている。これらの貫通孔40d、40eそれぞれの内側（前述の空隙側）の端部には、直角プリズム46A、46Bがそれぞれ配置され、鏡筒40に固定されている。

【0064】

鏡筒40外部には、一方の貫通孔40dに対向して、照射系90aが配置されている。また、鏡筒40外部には、他方の貫通孔40eに対向して、照射系90aとともに焦点位置検出系を構成する受光系90bが配置されている。照射系90aは、図1の主制御装置20によってオンオフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホール又はスリットの像を形成するための結像光束を水平方向に射出する。この射出された結像光束は、直角プリズム46Aによって鉛直下方に向けて反射され、前述のプリズム44AによってウエハW表面に光軸AXに対して斜め方向より照射される。一方、ウエハW表面で反射されたそれらの結像光束の反射光束は、前述のプリズム44Bで鉛直上方に向けて反射され、更に直角プリズム46Bで水平方向に向けて反射され、受光系90bによって受光される。このように、本実施形態では、照射系90a、受光系90b、プリズム44A、44B及び直角プリズム46A、46Bを含んで、例えば特開平6-283403号公報（対応米国特許第5,448,332号）等に関示されるものと同様の斜入射方式の多点焦点位置検出系から成る焦点位置検出系が構成されている。以下では、この焦点位置検出系を焦点位置検出系（90a, 90b）と記述するものとする。

【0065】

この焦点位置検出系（90a, 90b）の受光系90bの出力である焦点ずれ信号（デフォーカス信号）は、ステージ制御装置19に供給されている。ステージ制御装置19は、走査露光時などに、受光系90bからの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えばSカーブ信号に基づいてウエハW表面のZ位置及び θ_x 、 θ_y 回転を算出し、その算出結果を主制御装置20に送る。また、ステージ制御装置19は、算出したウエハW表面のZ位置及び θ_x 、 θ_y 回転がそれらの目標値に対する差が零となるように、すなわち焦点ずれが零となるように、ウエハステージ駆動部24を介してウエハテーブル30のZ軸方向への移動、及び2次元方向の傾斜（すなわち、 θ_x 、 θ_y 方向の回転）を制御することで、照明光ILの照射領域（前述の照明領域と結像関係）内で投影光学系PLの結像面とウエハWの表面とを実質的に合致させるオートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングを実行する。なお、焦点位置検出系（90a, 90b）は、特願2003-367041号で提案されているように、液体給排ユニット32の一部を光源からの光に対して透明なガラスとして、このガラスを利用して前述の検出をするものでも良い。

【0066】

また、ウエハテーブル30のX、Y、Z位置に関しては、ウエハテーブル30上への水の供給に起因するウエハWや基準マークの位置ずれ、あるいは制御遅れなどによる影響が極力抑制されるように、フィードフォワード制御による推力指令値の補正が行われている。

。これについては後述する。

【0067】

図7には、露光装置100の制御系の構成が一部省略してブロック図にて示されている。この制御系は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）などから成る主制御装置20及びこの配下にあるステージ制御装置19などを中心として構成されている。

【0068】

図8には、ステージ制御装置19の内部に構築されたウエハステージ制御系26のブロック図が、制御対象であるウエハステージ系56とともに示されている。

【0069】

前記目標値出力部28は、主制御装置20からの指示に応じ、ウエハテーブル30に対する位置指令プロファイルを作成し、そのプロファイルにおける単位時間当りの位置指令、すなわちウエハテーブル30のX、Y、Z、 θ_x 、 θ_y 、 θ_z の6自由度方向の位置の目標値 T_{gt} （＝（X、Y、0、0、0、0））を生成し、減算器29及び補正值生成部38に対してそれぞれ出力する。

【0070】

減算器29は、各自由度方向についての前記目標値 T_{gt} とウエハテーブル30の各自由度方向の実測値（観測値 $o = (x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ ）との差である位置偏差 Δ （＝（ $\Delta_x = X - x$ 、 $\Delta_y = Y - y$ 、 $\Delta_z = 0 - z$ 、 $\Delta\theta_x = 0 - \theta_x$ 、 $\Delta\theta_y = 0 - \theta_y$ 、 $\Delta\theta_z = 0 - \theta_z$ ））を演算するものである。

【0071】

制御部36は、減算器29から出力される位置偏差 Δ を入力として例えば（比例＋積分）制御動作を各自由度方向に関して個別に行い、ウエハステージ系56に対する各自由度方向の推力の指令値 P （＝（ $P_x, P_y, P_z, P_{\theta_x}, P_{\theta_y}, P_{\theta_z}$ ））を操作量として生成するPIコントローラ等を含んで構成されている。

【0072】

加算器39は、制御部36からの推力の指令値 P と、後述する補正值生成部38の出力である推力の補正值 $-E$ （＝（ $-E_x, -E_y, -E_z, 0, 0, 0$ ））とを各自由度方向毎に加算し、補正後の推力指令（ $P + (-E)$ ）＝（ $P_x - E_x, P_y - E_y, P_z - E_z, P_{\theta_x}, P_{\theta_y}, P_{\theta_z}$ ）を、ウエハステージ系56に対して出力する。

【0073】

ウエハステージ系56は、ウエハステージ制御系26の制御対象に相当する系であり、加算器39から出力される推力指令を入力し、ウエハテーブル30の位置情報を出力する系である。すなわち、このウエハステージ系56は、加算器39から出力される推力指令が与えられる前記ウエハステージ駆動部24と、このウエハステージ駆動部24によって6自由度方向に駆動されるウエハテーブル30と、該ウエハテーブル30の位置を計測する位置計測系、すなわちウエハ干渉計18及び焦点位置検出系（90a、90b）とが、実質的にこれに相当する。

【0074】

ウエハステージ駆動部24は、推力指令（ $P + (-E)$ ）が与えられると、これを各アクチュエータに対する操作量に変換する変換部を含んで構成されている。

【0075】

前記演算部54は、位置計測系の出力であるウエハ干渉計18の計測値に基づいてウエハテーブル30のX軸、Y軸及び θ_z 方向の位置情報を算出するとともに、同じく位置計測系の出力である焦点位置検出系（90a、90b）の出力に基づいてウエハテーブル30のZ軸、 θ_x 及び θ_y 方向の位置情報を算出する。この演算部54で算出されるウエハテーブル30の6自由度方向の位置情報が、主制御装置20に供給されている。また、後述する走査露光時には、この演算部54で算出されるウエハテーブル30のX、Y面内の位置情報が不図示の同期位置演算部に入力され、該同期位置演算部によって不図示のレチクルステージ制御系に対して、位置の目標値が与えられるようになっている。

【0076】

前記補正值生成部 38 には、目標値出力部 28 からの位置の目標値 T_{gt} の他、主制御装置 20 から、設定条件である流量 Q 、接触角 θ の値が入力されている。そして、この補正值生成部 38 は、次式 (3)、(4)、(5) に基づいて、 X 方向誤差 E_x' 、 Y 方向誤差 E_y' 、 Z 方向誤差 E_z' をそれぞれ算出し、その算出結果を所定の変換演算により推力の補正值 $-E_x$ 、 $-E_y$ 、 $-E_z$ に変換して、加算器 39 に対してフィードフォワード入力する。

【0077】

$$E_x' = f(X, Y, V_x, V_y, Q, \theta) \quad \dots\dots (3)$$

$$E_y' = g(X, Y, V_x, V_y, Q, \theta) \quad \dots\dots (4)$$

$$E_z' = h(X, Y, V_x, V_y, Q, \theta) \quad \dots\dots (5)$$

上式 (3)、(4)、(5) 中のパラメータ X 、 Y は、目標値出力部 28 からのウエハステージ WST の位置の指令値、パラメータ V_x 、 V_y は、ウエハステージ WST の移動速度（これは、 i 番目の位置の指令値 X_i 、 Y_i と $(i+1)$ 番目の位置の指令値 X_{i+1} 、 Y_{i+1} との差と、サンプリング間隔 Δt とに基づいて算出される）、パラメータ Q は、供給される水の流量、パラメータ θ は、水のウエハ（ウエハ上のレジスト又はそのコーティング層）に対する接触角（contact angle）である。

【0078】

ここで、上式 (3)、(4)、(5) に、パラメータ X 、 Y が含まれているのは、水の供給に伴ってその圧力及び表面張力などの力がウエハ W 、ウエハテーブル 30 などに作用するが、ウエハステージ WST のステージ座標系上における位置が異なれば、前記力に起因するウエハテーブル 30 表面の形状変化が異なるからである。

【0079】

また、パラメータ V_x 、 V_y が含まれているのは、次のような理由である。すなわち、ウエハテーブル 30 が、 XY 面内の所定方向に移動する際には、その移動方向及び移動速度に応じた水の流れが生じる。この流れは、非圧縮性の粘性流体であり、かつニュートンの粘性の法則が成り立つニュートン流体である水が、ウエハ表面とレンズ 42 下面との相対変位によりせん断力を受けることに起因して生じる、層流クエット（Couette）流れとなる。すなわち、ウエハテーブル 30 の移動速度が、水の流速、ひいては水の圧力を決定するパラメータの 1 つになっている。

【0080】

また、パラメータ Q が含まれているのは、供給される水の流量が水の圧力を決定するパラメータの 1 つだからである。

【0081】

また、パラメータ θ （接触角 θ ）が含まれているのは、次のような理由による。

【0082】

固体（例えばウエハ）と液体（例えば水）との接触において、固体の表面張力（表面エネルギー）を γ_s 、固液界面張力（固液 2 相間の界面エネルギー）を γ_{SL} 、液体の表面張力（表面エネルギー）を γ_L としたとき、接触角 θ は、次式 (6) のヤングの式（Young's equation）で表される。

【0083】

$$\gamma_L \cdot \cos \theta = (\gamma_s - \gamma_{SL}) \quad \dots\dots (6)$$

このように、ウエハテーブル及びウエハに作用する力の一部である水の表面張力 γ_L と接触角 θ との間には、所定の関係があるため、表面張力に影響を与えるパラメータとして接触角を含めている。接触角は例えば目視や画像計測により求めることができる。

【0084】

本実施形態では、上式 (3)、(4)、(5) は、露光装置 100 を用いて実際に行った計測用露光（テスト露光）の結果に基づいて、予め定められている。以下、これについて説明する。

【0085】

前提として、レチクルステージ RST 上には計測用レチクル（以下、便宜上「計測用レ

チクル R_T 」と記述する)がロードされているものとする。また、ウエハステージ WST は、ウエハ交換位置にあり、ウエハホルダ70上に計測用ウエハ(以下、便宜上「計測用ウエハ W_T 」と記述する)がロードされているものとする。

【0086】

ここで、計測用レチクル R_T としては、例えば長方形のガラス基板の一面(パターン面)に、パターン領域が形成され、そのパターン領域内に、複数の計測マークが、所定の間隔で、マトリクス状に配置されたものが用いられる。また、この計測用レチクル R_T には、複数対のレチクルアライメントマークが形成されている。計測用レチクル R_T 上には、パターン領域の中心との位置関係が既知であるウエハマーク(アライメントマーク)も配設されている。このウエハマークは、計測用ウエハ W_T の製造の過程で行われる走査露光の際に、計測マークとともにウエハ上に転写される。

【0087】

また、前記計測用ウエハ W_T として、デバイス製造ラインを構成する高精度な投影露光装置(液浸法を採用しない露光装置が望ましい)により上記計測用レチクル R_T のパターンが複数のショット領域に転写され、各ショット領域に複数の計測マークの像(例えばレジスト像又はエッチング像)が形成されたウエハが用いられる。この計測用ウエハ W_T の各ショット領域には、アライメントマーク(ウエハマーク)がそれぞれ付設されている。また、この計測用ウエハ W_T の表面には、不図示のコータ・デベロッパ(C/D)により、フォトリソが塗布されている。なお、この計測用ウエハ W_T が、前述の式(3)、(4)、(5)の関数を作成するための試料となり、すでに形成されている計測マークの像が、それらの関数を作成するために計測される位置ずれ量の基準となる。

【0088】

なお、すでに形成されているウエハ W_T の各計測マークの像の設計上の形成位置からの位置ずれ量(dx 、 dy)は、予め求められており、不図示のメモリに格納されているものとする。

【0089】

次に、通常のスキヤニング・ステッパと同様の手順で、レチクルアライメントが行われる。但し、本実施形態の露光装置100では、照明光 IL がレチクルアライメント用の検出光として用いられるので、投影光学系 PL の像面側端に位置するレンズ42と基準マーク板 FM との間に水が供給された状態で、レチクルアライメントが行われる。

【0090】

すなわち、主制御装置20の指示に基づき、ステージ制御装置19が、レチクル干渉計16の計測値に基づいて、レチクルステージ駆動部11を介して、照明系10による照明光の照射領域のほぼ中心が計測用レチクル R_T のほぼ中心に一致するようにレチクルステージ RST を移動するとともに、ウエハ干渉計18の計測値に基づいてウエハステージ駆動部24を介して、その計測用レチクル R_T のパターンの投影光学系 PL による投影位置に基準マーク板 FM が位置する位置(以下「所定の基準位置」と呼ぶ)にウエハテーブル30を移動する。

【0091】

次に、主制御装置20が、液体供給装置74の作動を開始するとともに、バルブ群62bの各バルブを所定開度で開く。これにより、全ての供給管52から液体給排ユニット32の液体供給口33a、33bを介して給水が開始され、所定時間経過後、レンズ42と基準マーク板 FM 表面との間の隙間が供給された水で満たされるようになる。次いで、主制御装置20は、バルブ群62aの各バルブを所定の開度で開き、レンズ42下方から外側に流れ出した水を、液体回収口32b₁、32b₂及び各回収管58を介して液体回収装置72に回収する。図5には、このときの状態が示されている。

【0092】

主制御装置20は、レチクルアライメントが行われる間、単位時間あたりに供給される水の流量と回収される水の流量とがほぼ同じになるように、バルブ群62bの各バルブ及びバルブ群62aの各バルブの開度を調整する。従って、レンズ42と基準マーク板 FM

との間の隙間には、一定量の水が常に保持される。また、この場合、レンズ42と基準マーク板FMとの間の隙間は最大でも1mm程度となっているので、水はその表面張力によって液体給排ユニット32と基準マーク板FMとの間に保持され、液体給排ユニット32の外側には殆ど漏れ出さなくなっている。

【0093】

上述の如く、給水が開始され、所定時間経過後、レンズ42と基準マーク板FM表面との間の隙間が供給された水で満たされるようになると、主制御装置20は、基準マーク板FM上の一对の第1基準マークと、その第1基準マークに対応する計測用レチクルR_T上の一对のレチクルアライメントマークとの相対位置を前述の一对のレチクルアライメント検出系12を用いて検出する。そして、主制御装置20では、レチクルアライメント検出系12の検出結果と、ステージ制御装置19を介して得られるその検出時のレチクルステージRSTのXY面内の位置情報及びウエハテーブル30のXY面内の位置情報とをメモリに記憶する。次いで、主制御装置20では、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTを、それぞれ所定距離だけY軸方向に沿って相互に逆向きに移動して、基準マーク板FM上の別の一对の第1基準マークと、その第1基準マークに対応する計測用レチクルR_T上の別の一对のレチクルアライメントマークとの相対位置を前述の一对のレチクルアライメント検出系12を用いて検出する。そして、主制御装置20では、レチクルアライメント検出系12の検出結果と、ステージ制御装置19を介して得られるその検出時のレチクルステージRSTのXY面内の位置情報及びウエハテーブル30のXY面内の位置情報とをメモリに記憶する。さらに、引き続いて、上記と同様にして、基準マーク板FM上の更に別の一对の第1基準マークと、その第1基準マークに対応するレチクルアライメントマークとの相対位置関係を更に計測しても良い。

【0094】

そして、主制御装置20では、このようにして得られた少なくとも2対の第1基準マークと対応するレチクルアライメントマークとの相対位置関係の情報と、それぞれの計測時のレチクルステージRSTのXY面内の位置情報及びウエハテーブル30のXY面内の位置情報とを用いて、レチクル干渉計16の測長軸で規定されるレチクルステージ座標系とウエハ干渉計18の測長軸で規定されるウエハステージ座標系との相対位置関係を求める。これにより、レチクルアライメントが終了する。後述する走査露光では、ウエハステージ座標系のY軸方向にレチクルステージRSTとウエハステージWSTとを同期走査することにより走査露光を行うが、その際には、このレチクルステージ座標系とウエハステージ座標系との相対位置関係に基づいて、レチクルステージRSTの走査が行われるようになる。

【0095】

このようにして、レチクルアライメントが終了すると、アライメント系ASのベースライン計測が行われるが、本実施形態では、これに先立って、主制御装置20は、基準マーク板FMが投影ユニットPUの直下にある状態で、バルブ群62bの各バルブを閉じて水の供給を停止する。このとき、バルブ群62aの各バルブは開かれたままである。従って、液体回収装置72により水の回収は続行されている。そして、液体回収装置72により基準マーク板FM上の水がほぼ完全に回収されると、主制御装置20は、ウエハテーブル30を前述の所定の基準位置に戻し、その位置から所定量、例えばベースラインの設計値だけXY面内で移動してアライメント系ASを用いて基準マーク板FM上の第2基準マークを検出する。主制御装置20では、このとき得られるアライメント系ASの検出中心と第2基準マークの相対位置関係の情報及び先にウエハテーブル30が基準位置に位置決めされた際に計測した一对の第1基準マークとその第1基準マークに対応する一对のレチクルアライメントマークとの相対位置関係の情報と、それぞれの計測時のウエハテーブル30のXY面内の位置情報と、ベースラインの設計値と、既知である第1基準マーク及び第2基準マークの位置関係とに基づいて、アライメント系ASのベースライン、すなわちレチクルパターンの投影中心とアライメント系ASの検出中心（指標中心）との距離（位置関係）を算出する。

【0 0 9 6】

このようにして求めたベースラインを、後述する E G A 方式のウエハアライメントの結果として得られるウエハ上の各ショット領域の配列座標とともに用いることで、各ショット領域をレチクルパターンの投影位置に確実に位置あわせすることができる筈である。

【0 0 9 7】

但し、本実施形態では、ベースライン算出の基礎となる、一对の第 1 基準マークとその第 1 基準マークに対応する一对のレチクルアライメントマークとの相対位置関係の情報の計測結果に、レチクルアライメントの際の水の供給に伴うウエハテーブル 3 0 の変形に起因する一对の第 1 基準マークの位置ずれ分の誤差が含まれるので、その誤差分だけベースラインを補正する必要がある。この誤差は、水の圧力及び表面張力に応じた値となるが、本実施形態では、予め、シミュレーションを行い、一对の第 1 基準マークの位置ずれ δX 、 δY を求め、メモリに記憶している。

【0 0 9 8】

そこで、上述のベースラインの計測が終了すると、主制御装置 2 0 では、計測したベースラインを上記補正值分だけ補正した補正後のベースラインを新たなベースラインとして、メモリに記憶する。

【0 0 9 9】

次に、ロードされた計測用ウエハ W_T に対し、E G A (エンハンスト・グローバル・アライメント) 等のウエハアライメントが実行される。すなわち、主制御装置 2 0 により、ウエハ W_T 上にすでに形成されている複数ショット領域のうちから選択された特定の複数のショット領域 (サンプルショット領域) にそれぞれ付設されたウエハマークがアライメント系 A S の検出視野内に順次位置するように、ステージ制御装置 1 9 及びウエハステージ駆動部 2 4 を介してウエハテーブル 3 0 の位置決めが順次実行される。この位置決めの都度、主制御装置 2 0 は、ウエハマークをアライメント系 A S によって検出する。

【0 1 0 0】

次いで、主制御装置 2 0 は、ウエハマークの検出結果である、指標中心に対するウエハマークの位置と、そのときのウエハテーブル 3 0 の X Y 面内の位置情報とに基づいて、各ウエハマークのウエハステージ座標系上の位置座標をそれぞれ算出する。そして、主制御装置 2 0 では、算出したウエハマークの位置座標を用いて、例えば特開昭 6 1 - 4 4 4 2 9 号公報 (対応米国特許第 4, 7 8 0, 6 1 7 号) などに開示される最小自乗法を用いた統計演算を実行し、計測用ウエハ W_T の各ショット領域の配列座標系とウエハステージ座標系との回転成分、スケーリング成分、オフセット成分、ウエハステージ座標系の X 軸と Y 軸の直交度成分等の所定の回帰モデルのパラメータを算出し、そのパラメータを回帰モデルに代入して、計測用ウエハ W_T 上の各ショット領域の配列座標、すなわち各ショット領域の中心の位置座標を算出し、不図示のメモリに記憶する。このとき算出された各ショット領域の中心の位置座標が、後述する、計測用ウエハの計測結果とウエハステージ座標系との関連付けに用いられる。

【0 1 0 1】

上記のウエハアライメントが終了すると、主制御装置 2 0 の指示に基づき、ステージ制御装置 1 9 が、レチクル干渉計 1 6 の計測値に基づいて、レチクルステージ R S T を走査開始位置 (加速開始位置) へ移動するとともに、ウエハ干渉計 1 8 の計測値に基づいて、所定の給水開始位置、例えば投影ユニット P U の直下に基準マーク板 F M が位置する位置にウエハステージ W S T を移動する。次に、主制御装置 2 0 が、液体供給装置 7 4 の作動を開始するとともに、バルブ群 6 2 b の各バルブを所定開度で開くとともに、バルブ群 6 2 a の各バルブを所定の開度で開き、さらに液体回収装置 7 2 の作動を開始してレンズ 4 2 と基準マーク板 F M 表面との間の隙間に対する水の供給及びその隙間からの水の回収を開始する。このとき、主制御装置 2 0 は、単位時間あたりに供給される水の流量と回収される水の流量とがほぼ同じになるように、バルブ群 6 2 b の各バルブ及びバルブ群 6 2 a の各バルブの開度を調整する。

【0 1 0 2】

その後、以下のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光動作が行われる。

【0103】

まず、主制御装置 20 は、ウエハアライメントの結果及びベースラインの計測結果に基づいて、ステージ制御装置 19 に対して、ウエハステージ WST を移動させるように指示する。この指示に応じ、ステージ制御装置 19 は、ウエハ干渉計 18 の計測値をモニタしつつ、計測用ウエハ W_T のファーストショット（第 1 番目のショット領域）の露光のための走査開始位置（加速開始位置）にウエハステージ WST（ウエハテーブル 30）を移動させる。

【0104】

なお、この走査開始位置（加速開始位置）は、上記ウエハアライメントにより求められたファーストショットの中心位置座標に対して、今回の走査露光により転写形成されるショット領域の中心位置座標が、例えば X 軸方向に関して所定距離（例えば w ）だけずれるような位置とする。このようにするのは、計測用ウエハ W_T 上に既に形成されているマークのレジスト像と、今回の走査露光により転写形成されるマークの像とが重ならないようにすることで、後述する位置ずれ量の計測を円滑に行えるようにするためである。

【0105】

上述の給水開始位置から上記加速開始位置までウエハステージ WST が移動する際にも、主制御装置 20 によって、前述と同様にして水の供給及び回収が実行されている。

【0106】

上記の加速開始位置への計測用ウエハ W_T の移動が終了すると、主制御装置 20 の指示に応じて、ステージ制御装置 19 により、レチクルステージ RST とウエハステージ WST との Y 軸方向の相対走査が開始される。

【0107】

この相対走査は、前述したウエハステージ制御系 26 と、このウエハステージ制御系 26 の演算部 54 で算出されるウエハテーブル 30 の X、Y 面内の位置情報に基づいて同期位置演算部によって算出される位置の目標値に基づいてレチクルステージ RST を制御するレチクルステージ制御系によって行われる。

【0108】

但し、この計測用露光の段階では、補正值生成部 38 からは補正值として（0, 0, 0, 0, 0, 0）が出力される。すなわち、補正值生成部 38 による補正は行われない。

【0109】

そして、両ステージ RST、WST がそれぞれの目標走査速度に達すると、照明光 IL によって計測用レチクル R_T のパターン領域が照明され始め、走査露光が開始される。この走査露光中は、レチクルステージ RST の Y 軸方向の移動速度 V_r とウエハステージ WST の Y 軸方向の移動速度 $V_w (=V_y)$ とが、投影光学系 PL の投影倍率に応じた速度比に維持されるような両ステージ RST、WST の同期制御が、ステージ制御装置 19 によって行われる。

【0110】

そして、計測用レチクル R_T のパターン領域の異なる領域が照明光 IL で逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、計測用ウエハ W_T 上のファーストショットの走査露光が終了する。これにより、計測用レチクル R_T のパターンが投影光学系 PL 及び水を介して計測用ウエハ W_T 上のファーストショットに縮小転写される。

【0111】

上記の計測用ウエハ W_T 上のファーストショットに対する走査露光に際し、主制御装置 20 は、走査方向、すなわち計測用ウエハ W_T の移動方向に関して、投影ユニット PU の後側から前側に移動する水の流れがレンズ 42 の下方に生じるように、バルブ群 62a、62b を構成する各バルブの開度調整を行う。すなわち、主制御装置 20 は、計測用ウエハ W_T の移動方向に関して、投影ユニット PU の後側の供給管 52 から供給される水の総流量が、投影ユニット PU の後側の供給管 52 から供給される水の総流量より ΔQ だけ多

くなり、かつこれに対応して、計測用ウエハ W_T の移動方向に関して、投影ユニット P_U の前側の回収管58を介して回収される水の総流量が、投影ユニット P_U の後側の回収管58を介して回収される水の総流量より ΔQ だけ多くなるように、バルブ群62a、62bを構成する各バルブの開度調整を行う。

【0112】

また、上記の走査露光中には、計測用ウエハ W_T 上の照明領域が投影光学系 P_L の結像面に極力一致した状態で露光が行われる必要があるため、前述した焦点位置検出系(90a、90b)の出力に基づくオートフォーカス、オートレベリングがステージ制御装置19、より正確には、前述のウエハステージ制御系26によって実行される。

【0113】

このようにして、計測用ウエハ W_T 上のファーストショットに対する走査露光が終了すると、主制御装置20からの指示に応じ、ステージ制御装置19により、ウエハステージ駆動部24を介してウエハステージ WST が X 軸、 Y 軸方向にステップ移動され、計測用ウエハ W_T 上のセカンドショット(第2番目のショット領域)の露光のための加速開始位置に移動される。なお、この場合も、ファーストショットと同様に、その走査開始位置は、上記ウエハアライメントにより求められたセカンドショットの中心位置座標に対して、今回の走査露光により転写形成されるショット領域の中心位置座標が、 X 軸方向に関して w だけずれるような位置とする。

【0114】

このファーストショットの露光とセカンドショットの露光との間のウエハステージ WST のショット間ステップング動作の際にも、主制御装置20は、前述の給水開始位置からファーストショットの露光のための加速開始位置までウエハテーブル30を移動した場合と同様の各バルブの開閉動作を行っている。

【0115】

次に、主制御装置20の管理の下、計測用ウエハ W_T 上のセカンドショットに対して前述と同様の走査露光が行われる。本実施形態の場合、いわゆる交互スキャン方式が採用されているため、このセカンドショットの露光の際には、レチクルステージ RST 及びウエハステージ WST の走査方向(移動方向)が、ファーストショットとは逆向きになる。このセカンドショットに対する走査露光時における、主制御装置20及びステージ制御装置19の処理は、前述と基本的には同様である。この場合も、主制御装置20は、ファーストショットの露光時と反対の計測用ウエハ W_T の移動方向に関して、投影ユニット P_U の後側から前側に移動する水の流れがレンズ42の下方に生じるように、バルブ群62a、62bを構成する各バルブの開度調整を行う。

【0116】

このようにして、計測用ウエハ W_T 上の m 番目(m は自然数)のショット領域の走査露光と $m+1$ 番目のショット領域の露光のためのステップング動作とが繰り返し実行され、計測用ウエハ W_T 上の全ての露光対象ショット領域に計測用レチクル R_T のパターンが順次転写される。

【0117】

これにより、一枚のウエハに対するテスト露光が終了し、計測用ウエハ W_T 上に計測用レチクル R_T のパターンが転写された複数のショット領域が形成される。

【0118】

本実施形態では、上述したような、計測用レチクル R_T を用いた計測用露光を、走査速度(スキャン速度)、供給される水の流量、ウエハ上に塗布されるレジスト又はコーティング膜の種類など、上述した式(3)、(4)、(5)の各パラメータに密接な関係がある条件を、個別に種々変更しながら、異なる計測用ウエハに対してそれぞれ行う。

【0119】

そして、それらの露光済みの計測用ウエハのそれぞれを、不図示のコータ・デベロッパに搬送して、現像を行い、その現像後に、各計測用ウエハ上に形成された各ショット領域のレジスト像をSEM(走査型電子顕微鏡)などで計測し、その計測結果に基づいて各計

測マークの位置ずれ量 (X 軸方向、Y 軸方向) を、計測用ウエハ毎に求める。

【0120】

ここで、各計測マークの設計値からの位置ずれ量 (eX 、 eY) は、以下の手順で求められる。

【0121】

まず、現工程で形成された各計測マークのレジスト像の位置座標から元工程で形成された (計測用ウエハ上に既に形成されていた) 対応するマークのレジスト像の位置を差し引き、X 軸方向に関しては w をさらに差し引くことで、計測用ウエハ上に既に形成されていた計測マークのレジスト像の位置を基準とする各計測マークの位置ずれ量 (DX 、 DY) を求める。

【0122】

この場合、基準となる計測用ウエハ上に既に形成されていた各計測マークの像は、設計上の形成位置から (dx 、 dy) だけ位置ずれしているの、その位置ずれ量 (dx 、 dy) をメモリから読み出し、その位置ずれ量と上で求めた位置ずれ量 (DX 、 DY) とに基づいて、各計測マークの設計値 (設計上の形成位置) からの位置ずれ量 (eX 、 eY) を算出する。

【0123】

次に、計測用ウエハ毎に、その計測用ウエハ上に設定されたウエハ座標系上における各ショット領域の中心座標と、先に行われた EGA の結果として得られた各ショット領域の中心座標とが一致するものとして、各計測マークの位置ずれ量 (eX 、 eY) を、ウエハステージ座標系 (X 、 Y) と関連づける。

【0124】

また、各計測用ウエハについて如何なる条件下で計測用露光が行われたかは既知であるから、得られた全ての計測用ウエハの全ての計測マークの位置ずれ量 (eX 、 eY) と、対応する計測マークの座標値 (X 、 Y) と、設定された各設定値 (ここでは、速度 V_y ($=V_w$)、流量 Q 、接触角 θ) とを用いて、最小二乗近似によりカーブフィットを行うことで、前述した式 (3)、(4) を決定している。なお、計測用露光により得られるデータは、走査露光中のデータであるから、通常は、 $V_x = 0$ となるが、ショット領域の C 字ディストーションなどの補正等を目的とする場合には、 V_x は、位置 Y の関数に応じて変化する変数 (又は時間 t の関数に応じて変化する変数) となる。

【0125】

また、例えば、得られた全ての計測用ウエハの全ての計測マークの転写像 (レジスト像) の線幅の計測結果と、予め求められている CD-フォーカス曲線 (線幅とフォーカスとの関係を示す曲線) とに基づいて、各マークの転写像の線幅を、デフォーカス量、すなわちマークの Z 軸方向に関する位置ずれ量 eZ に変換する。そして、得られた全ての計測用ウエハの全ての計測マークの位置ずれ量 eZ 、対応する計測マークの座標値 (X 、 Y) と、各設定値とを用いて、最小二乗近似によりカーブフィットを行うことで、前述した式 (5) を決定している。この他、同一次数の正負の回折光の回折効率が異なる計測マークが形成された計測用レチクルを用い、計測用ウエハ上に形成された計測マークの転写像の転写位置の基準位置からのずれを求めることで、デフォーカス量 (すなわちマークの Z 軸方向に関する位置ずれ量) eZ を算出することもできる。なお、ウエハテーブル 30 の Z 軸方向の位置を順次変えながら、計測用レチクル R_T のパターンを順次転写して投影光学系 PL のベストフォーカス位置を求めても良い。

【0126】

勿論、上述した計測用の露光結果に基づく手法の他、走査速度 (スキャン速度)、供給される水の流量、ウエハ上に塗布されるレジスト又はコーティング膜の種類など、上述した式 (3)、(4)、(5) の各パラメータに密接な関係がある条件を、個別に種々変更しながら、シミュレーションを行い、このシミュレーションの結果に基づいて、前述した式 (3)、(4)、(5) を決定することも可能である。

【0127】

いずれにしても、決定された位置ずれ量の算出式である前述の式(3)、(4)、(5)が、ステージ制御装置19の内部メモリに格納されている。また、ステージ制御装置19の内部メモリには、位置ずれ量を推力指令値に変換するための変換式も格納されている。そして、これらの式が、補正值生成部38で用いられる。

【0128】

次に、本実施形態の露光装置100による、デバイス製造時の露光動作について説明する。

【0129】

この場合も、基本的には、前述した計測用露光の際と同様の手順に従って一連の処理が行われる。そこで、重複説明を避けるため、以下では、相違点を中心として説明する。

【0130】

この場合、計測用レチクル R_T に代えて、デバイスパターンが形成されたデバイス用レチクル R が用いられ、計測用ウエハ W_T に代えて、少なくとも一層の回路パターンが既に転写され、その表面にフォトリソが塗布されたウエハ W が用いられる。

【0131】

前述と同様の手順で、レチクル R に対するレチクルアライメント、アライメント系 AS のベースライン計測、及びウエハ W に対する EGA 方式のウエハアライメントが行われる。これらレチクルアライメント、ベースライン計測及びウエハアライメントの際の、主制御装置20によって前述と同様の水の供給、回収動作が行われる。

【0132】

上記のウエハアライメントが終了すると、主制御装置20の指示に基づき、ステージ制御装置19が、レチクル干渉計16の計測値に基づいて、レチクルステージ RST を走査開始位置(加速開始位置)へ移動するとともに、ウエハ干渉計18の計測値に基づいて、所定の給水開始位置、例えば投影ユニット PU の直下に基準マーク板 FM が位置する位置にウエハステージ WST を移動する。

【0133】

次に、主制御装置20が、液体供給装置74の作動を開始するとともに、バルブ群62bの各バルブを所定開度で開くとともに、バルブ群62aの各バルブを所定の開度で開き、さらに液体回収装置72の作動を開始してレンズ42と基準マーク板 FM 表面との間の隙間に対する水の供給及びその隙間からの水の回収を開始する。このとき、主制御装置20は、単位時間当たりに供給される水の流量と回収される水の流量とがほぼ同じになるように、バルブ群62bの各バルブ及びバルブ群62aの各バルブの開度を調整する。

【0134】

その後、以下のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光動作が行われる。

【0135】

まず、主制御装置20は、ウエハアライメントの結果及びベースラインの計測結果に基づいて、ステージ制御装置19に対して、ウエハステージ WST を移動させるように指示する。この指示に応じ、ステージ制御装置19は、ウエハ干渉計18の計測値をモニタしつつ、ウエハ W のファーストショット(第1番目のショット領域)の露光のための走査開始位置(加速開始位置)にウエハステージ WST (ウエハテーブル30)を移動させる。

【0136】

これをさらに詳述すると、目標値出力部が、第1ショット領域(ファーストショット)の露光のための加速開始位置を、前述のウエハアライメントの結果求められている第1ショット領域のステージ座標系上における位置座標と、前述の新たなベースラインとに基づいて算出し、その加速開始位置とウエハテーブル30の現在位置とに基づいて、ウエハテーブル30に対する位置指令プロファイルを作成し、そのプロファイルにおける単位時間当たりの位置指令、すなわちウエハテーブル30の X 、 Y 、 Z 、 θ_x 、 θ_y 、 θ_z の6自由度方向の位置の目標値 T_{gt} ($= (X, Y, 0, 0, 0, 0)$)を生成し、減算器29及び補正值生成部38に対してそれぞれ出力する。

【0137】

これにより、制御部36では、減算器29から出力されるウエハテーブル30の各自由度方向の実測値（観測値 $o = (x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ ）との差である位置偏差 $\Delta (= (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z))$ に基づいて制御動作を行い、ウエハステージ系56に対する各自由度方向の推力の指令値 $P (= (P_x, P_y, P_z, P\theta_x, P\theta_y, P\theta_z))$ を加算器39に出力する。但し、レチクルステージRSTに対するウエハテーブル30の相対走査中以外は、焦点位置検出系（90a、90b）は、OFFであるから、観測量 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ は全て零であり、対応する目標値も零であるから、位置偏差 $\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z$ も零である。従って、推力の指令値 $P\theta_x, P\theta_y, P\theta_z$ も零である。

【0138】

補正值生成部38は、目標値出力部28からの位置の目標値 T_{gt} 、主制御装置20から入力される流量 Q 、接触角 θ の値に基づいて、前述の式（3）、（4）、（5）によりX方向誤差 E_x' 、Y方向誤差 E_y' 、Z方向誤差 E_z' をそれぞれ算出し、その算出結果を所定の変換演算により推力の補正值 $-E_x, -E_y, -E_z$ に変換する。そして、この補正值生成部38は、加算器39に対して補正值 $-E (= (-E_x, -E_y, -E_z, 0, 0, 0))$ をフィードフォワード入力する。

【0139】

加算器39は、制御部36からの推力の指令値 P と、補正值生成部38の出力である推力の補正值 $-E$ とを各自由度方向毎に加算し、補正後の推力の指令値 $(P + (-E)) = (P_x - E_x, P_y - E_y, P_z - E_z, P\theta_x, P\theta_y, P\theta_z)$ を、ウエハステージ系56を構成するウエハステージ駆動部24に与える。但し、レチクルステージRSTに対するウエハテーブル30の相対走査中以外は、推力の指令値 $P\theta_x, P\theta_y, P\theta_z$ は零である。

【0140】

ウエハステージ駆動部24では、変換部により推力の指令値 $(P + (-E))$ が各アクチュエータに対する操作量に変換されて、各アクチュエータによりウエハテーブル30が6自由度方向に駆動される。

【0141】

このように、目標値出力部28が、ウエハテーブル30に対する位置指令プロファイルにおける単位時間当りの位置指令を、単位時間毎に減算器29及び補正值生成部38に対して出力することで、上述したような制御動作が繰り返し行われ、ウエハテーブル30が、ウエハWのファーストショット（第1番目のショット領域）の露光のための走査開始位置（加速開始位置）に移動する。

【0142】

その後、主制御装置20からの指示に基づき、目標値出力部28が、そのファーストショットの露光の際の目標スキャン速度に応じたウエハテーブル30に対する位置指令プロファイルを作成し、位置指令プロファイルにおける単位時間当りの位置指令を、単位時間毎に減算器29及び補正值生成部38に対して出力することで、ウエハテーブル30の加速が開始され、これと同時に前述の同期位置演算部によって算出される位置の目標値に基づいてレチクルステージ制御系によりレチクルステージRSTの加速が開始される。

【0143】

そして、両ステージRST、WSTがそれぞれの目標走査速度に達すると、照明光ILによってレチクルRのパターン領域が照明され始め、走査露光が開始される。この走査露光中は、レチクルステージRSTのY軸方向の移動速度 V_r とウエハステージWSTのY軸方向の移動速度 $V_w (= V_y)$ とが、投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比に維持されるような両ステージRST、WSTの同期制御が、ステージ制御装置19によって行われる。

【0144】

そして、レチクルRのパターン領域の異なる領域が照明光ILで逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、ウエハW上のファーストショットの走査露光が終了する。これにより、レチクルRのパターンが投影光学系PL及び水を介してウ

エハW上のファーストショットに縮小転写される。上記のウエハテーブル30とレチクルステージRSTとの相対走査中は、主制御装置20によるバルブ群62a、62bの各バルブの開閉動作などは、前述の計測用露光の場合と全く同様に行われる。

【0145】

但し、この場合、ウエハステージ制御系26の補正值生成部38から補正值($-E_x$ 、 $-E_y$)が加算器39にフィードフォワードにて入力され、制御部36から出力される推力指令値(P_x 、 P_y)がその補正值で補正された推力指令値に基づいてウエハテーブル30(ウエハステージWST)が、ウエハステージ駆動部24によって駆動される。このため、水の供給に起因するウエハW上の露光対象のショット領域のX軸方向及びY軸方向の位置ずれ、すなわちウエハテーブル(及びウエハ)の変形による移動鏡17X、17YとウエハWとの距離(より正確には、移動鏡17X、17YとウエハW上の露光対象のショット領域との距離)の変化に起因するウエハW(露光対象のショット領域)のXY面内の位置ずれが補正された状態で、露光対象のショット領域にレチクルRのパターンが精度良く重ね合わせて転写される。

【0146】

また、上記の走査露光中には、ウエハテーブル30が観測値 Z 、 θ_x 、 θ_y に基づいて制御されるオートフォーカス、オートレベリングがウエハステージ制御系26によって実行されるが、この際、補正值生成部38からZ軸方向に関する推力の補正值($-E_z$)が加算器39にフィードフォワードにて入力され、制御部36から出力される推力指令値 P_z がその補正值で補正された推力指令値に基づいてウエハテーブル30のZ位置、すなわち投影光学系PLの光軸方向に関する投影光学系PL(レンズ42)とウエハWとの間隔が制御されるので、ウエハテーブル30のオートフォーカス制御を制御遅れなく行うことが可能となり、ウエハW上の照明領域が投影光学系PLの結像面に実質的に一致した状態で露光が行われる。

【0147】

このようにして、ウエハW上のファーストショットに対する走査露光が終了すると、主制御装置20からの指示に応じ、ステージ制御装置19により、ウエハステージ駆動部24を介してウエハステージWSTがX軸、Y軸方向にステップ移動され、ウエハW上のセカンドショット(第2番目のショット領域)の露光のための加速開始位置に移動される。

【0148】

このファーストショットの露光とセカンドショットの露光との間のウエハステージWSTのショット間ステップング動作の際にも、主制御装置20は、前述の給水開始位置からファーストショットの露光のための加速開始位置までウエハテーブル30を移動した場合と同様の各バルブの開閉動作を行っている。

【0149】

次に、主制御装置20の管理の下、ウエハW上のセカンドショットに対して前述のファーストショットと同様の走査露光が行われる。本実施形態の場合、いわゆる交互スキャン方式が採用されているため、このセカンドショットの露光の際には、レチクルステージRST及びウエハステージWSTの走査方向(移動方向)が、ファーストショットとは逆向きになる。このセカンドショットに対する走査露光時における、主制御装置20及びステージ制御装置19の処理は、前述と基本的には同様である。この場合も、主制御装置20は、ファーストショットの露光時と反対のウエハWの移動方向に関して、投影ユニットPUの後側から前側に移動する水の流れがレンズ42の下方に生じるように、バルブ群62a、62bを構成する各バルブの開度調整を行う。

【0150】

このようにして、計測用ウエハW上のm番目(mは自然数)のショット領域の走査露光とm+1番目のショット領域の露光のためのステップング動作とが繰り返し実行され、ウエハW上の全ての露光対象ショット領域にレチクルRのパターンが順次転写される。

【0151】

上記のセカンドショット以降の各ショットの走査露光の際にも、ウエハステージ制御系

26の補正值生成部38から補正值 $-E_x$ 、 $-E_y$ が加算器39にフィードフォワードにて入力され、制御部36から出力される推力指令値(P_x 、 P_y)がその補正值で補正された推力指令値に基づいてウエハテーブル30(ウエハステージWST)が、ウエハステージ駆動部24によって駆動されるため、水の供給に起因するウエハW上の露光対象のショット領域のX軸方向及びY軸方向の位置ずれが補正された状態で、露光対象のショット領域にレチクルRのパターンが精度良く重ね合わせて転写される。また、補正值生成部38からZ軸方向に関する推力の補正值 $-E_z$ が加算器39にフィードフォワードにて入力され、制御部36から出力される推力指令値 P_z がその補正值で補正された推力指令値に基づいてウエハテーブル30のZ位置が制御されるので、ウエハテーブル30のオートフォーカス制御を制御遅れなく行うことが可能となり、ウエハW上の照明領域が投影光学系PLの結像面に実質的に一致した状態で露光が行われる。

【0152】

上述のようにしてウエハW上の複数のショット領域に対する走査露光が終了すると、主制御装置20は、ステージ制御装置19に指示を与え、前述の排水位置にウエハステージWSTを移動する。次に、主制御装置20は、バルブ群62aの全てのバルブを全閉状態にするとともに、バルブ群62bの全てのバルブを全開状態にする。これにより、所定時間後に、レンズ42の下の水は、液体回収装置72によって完全に回収される。

【0153】

その後、ウエハステージWSTが、前述のウエハ交換位置に移動し、ウエハ交換が行われ、交換後のウエハに対して前述と同様のウエハアライメント、露光が行われる。

【0154】

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、ステージ制御装置19、より正確には、ウエハステージ制御系26によって、液体(水)の供給に起因してウエハに生じる位置ずれ、すなわちウエハ干渉計で間接的に計測されるウエハテーブル上のウエハ又は基準マーク板の位置の誤差を補正する補正装置が構成されている。

【0155】

以上説明したように、本実施形態の投影露光装置によると、ステージ制御装置19内部に構築されたウエハステージ制御系26により、水(液体)の供給に起因して生じるウエハテーブル30の変形に伴う、該ウエハテーブル30上に保持されたウエハW(又は基準マーク板FM)に生じる位置ずれが補正される。

【0156】

また、本実施形態の露光装置100によると、ウエハW上の各ショット領域に対するレチクルパターンの転写が走査露光方式で行われる際、主制御装置20により投影ユニットPU(投影光学系PL)とウエハステージWST上のウエハWとの間に水が供給される動作と、水の回収動作とが並行して行われる。すなわち、投影光学系PLを構成する先端のレンズ42とウエハステージWST上のウエハWとの間に、常に所定量の水(この水は常時入れ替わっている)が満たされた(保持された)状態で、露光(レチクルパターンのウエハ上への転写)が行われる。この結果、液浸法が適用されて、ウエハW表面における照明光ILの波長を空気中における波長の $1/n$ 倍(n は水の屈折率1.4)に短波長化でき、これにより投影光学系の解像度が向上する。また、供給される水は、常時入れ替えられているので、ウエハW上に異物が付着している場合には、その異物が水の流れにより除去される。

【0157】

また、投影光学系PLの焦点深度は空気中に比べて約 n 倍に広がるので、前述のウエハWのフォーカス・レベリング動作に際して、デフォーカスが発生しにくいという利点がある。なお、空気中で使用する場合と同程度の焦点深度が確保できれば良い場合には、投影光学系PLの開口数(NA)をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

【0158】

なお、上記実施形態では、ステージ制御装置19が、ウエハテーブル30に与える推力

を変更して、前述の水の供給に起因するウエハW上の各ショット領域の位置ずれを補正する場合について説明したが、これに限らず、特に走査露光の際には、レチクルステージ RST に与える推力、あるいはウエハテーブル 30 及びレチクルステージ RST に与える推力を変更して、前述の水の供給に起因するウエハW上の各ショット領域の位置ずれを補正することとしても良い。

【0159】

また、上記実施形態では、補正值生成部 38 からの補正值でウエハステージ系に与えられる推力指令値を補正するものとしたが、これに限らず、補正值生成部で算出される補正值により減算器 29 から出力される位置偏差を補正するような構成を採用しても良い。この場合には、補正值生成部では、位置の偏差との加減算が可能な次元の補正值を算出する。

【0160】

また、上記実施形態では、ステージ制御装置 19 が、水の供給に起因するウエハテーブルの変形に伴うウエハW等の位置ずれを補正する場合について説明したが、これに代えて、あるいはこれに加えて、ステージ制御装置 19 は、予めシミュレーション又は実験等で求めたデータに基づいて、ウエハテーブルの振動により生じる位置ずれを補正することとしても良い。

【0161】

なお、上記実施形態では、主制御装置 20 は、走査露光の際には、ウエハテーブル 30 の移動方向に関して投影ユニット P U の後方から前方に移動する水の流れがレンズ 42 の下方に生じるように、すなわち、ウエハWの移動方向に関して、投影ユニット P U の後側の供給管 52 から供給される水の総流量が、投影ユニット P U の後側の供給管 52 から供給される水の総流量より ΔQ だけ多くなり、かつこれに対応して、ウエハWの移動方向に関して、投影ユニット P U の前側の回収管 58 を介して回収される水の総流量が、投影ユニット P U の後側の回収管 58 を介して回収される水の総流量より ΔQ だけ多くなるように、バルブ群 62 a、62 b を構成する各バルブの開度調整（全閉及び全開を含む）を行うものとした。しかし、これに限らず、主制御装置 20 は、走査露光の際に、ウエハWの移動方向に関して、投影ユニット P U の後側の供給管 52 からのみ水を供給し、ウエハWの移動方向に関して、投影ユニット P U の前側の回収管 58 を介してのみ水の回収が行われるように、バルブ群 62 a、62 b を構成する各バルブの開度調整（全閉及び全開を含む）を行うこととしても良い。また、走査露光のためのウエハWの移動中以外、例えばショット領域間のステッピング時などには、バルブ群 62 a、62 b を構成する各バルブを全閉状態に維持しても良い。

【0162】

なお、上記実施形態では、液体として超純水（水）を用いるものとしたが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。液体としては、化学的に安定で、照明光 I L の透過率が高く安全な液体、例えばフッ素系不活性液体を使用しても良い。このフッ素系不活性液体としては、例えばフロリナート（米国スリーエム社の商品名）が使用できる。このフッ素系不活性液体は冷却効果の点でも優れている。また、液体として、照明光 I L に対する透過性があるだけ屈折率が高く、また、投影光学系やウエハ表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なもの（例えばセダー油等）を使用することもできる。また、液体として、過フッ化ポリエーテル（PFPE）を用いても良い。

【0163】

また、上記実施形態で、回収された液体を再利用するようにしても良く、この場合は回収された液体から不純物を除去するフィルタを液体回収装置、又は回収管等に設けておくことが望ましい。

【0164】

なお、上記実施形態では、投影光学系 P L の最も像面側の光学素子がレンズ 42 であるものとしたが、その光学素子は、レンズに限られるものではなく、投影光学系 P L の光学特性、例えば収差（球面収差、コマ収差等）の調整に用いる光学プレート（平行平板等

)であっても良いし、単なるカバーガラスであっても良い。投影光学系 PL の最も像面側の光学素子(上記実施形態ではレンズ 42)は、照明光 IL の照射によってレジストから発生する飛散粒子又は液体中の不純物の付着等に起因して液体(上記実施形態では水)に接触してその表面が汚れることがある。このため、その光学素子は、鏡筒 40 の最下部に着脱(交換)自在に固定することとし、定期的に交換することとしても良い。

【0165】

このような場合、液体に接触する光学素子がレンズ 42 であると、その交換部品のコストが高く、かつ交換に要する時間が長くなってしまい、メンテナンスコスト(ランニングコスト)の上昇やスループットの低下を招く。そこで、液体と接触する光学素子を、例えばレンズ 42 よりも安価な平行平板とするようにしても良い。

【0166】

また、上記実施形態において、液体(水)を流す範囲はレチクルのパターン像の投影領域(照明光 IL の照射領域)の全域を覆うように設定されていれば良く、その大きさは任意で良いが、流速、流量等を制御する上で、照射領域よりも少し大きくしてその範囲をできる限り小さくしておくことが望ましい。

【0167】

更に、上記実施形態では、ウエハホルダ 70 のウエハ W が載置される領域の周囲に補助プレート 22a~22d が設けられるものとしたが、本発明の中には、露光装置は、補助プレートあるいはそれと同等の機能を有する平板を必ずしも基板テーブル上に設けなくても良いものもある。但し、この場合には、供給される液体が基板テーブルから溢れないように、その基板テーブル上に液体を回収する配管を更に設けておくことが望ましい。

【0168】

なお、上記実施形態では、光源として ArF エキシマレーザを用いるものとしたが、これに限らず、KrF エキシマレーザ(出力波長 248 nm)などの紫外光源を用いても良い。また、例えば、紫外光として上記各光源から出力されるレーザ光に限らず、DFB 半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム(Er)(又はエルビウムとイッテルビウム(Yb)の両方)がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波(例えば、波長 193 nm)を用いても良い。

【0169】

また、投影光学系 PL は、屈折系に限らず、カタディオプトリック系(反射屈折系)であっても良い。また、その投影倍率も 1/4 倍、1/5 倍などに限らず、1/10 倍などであっても良い。

【0170】

なお、上記実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式等の走査型露光装置に本発明が適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されないことは勿論である。すなわちステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置にも本発明は好適に適用できる。この場合、走査露光ではなく静止露光が行われる点を除き、基本的には前述した実施形態と同等の構成を用いることができ、同等の効果を得ることができる。また、ウエハステージを 2 基備えたツインステージ型の露光装置にも適用できる。

【0171】

なお、上記実施形態では、液体(水)の供給に起因して基板(又は基板テーブル)に生じる位置ずれを補正する投影露光装置について説明したが、投影露光装置に限らず、表面に液体が供給される基板を移動可能に保持する基板テーブルを有したステージ装置であれば、本発明を適用することが可能である。この場合、基板テーブルの位置情報を計測する位置計測装置と、液体の供給に起因して基板と基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれを補正する補正装置とを備えていれば良い。かかる場合には、補正装置により、液体の供給に起因して基板と基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれが補正される。このため、基板の表面に供給される液体の影響を受けることなく、位置計測装置の計測結果に基づいて、基板及び基板テーブルを移動することが可能となる。

【0172】

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影ユニットPUを露光装置本体に組み込み、更に、投影ユニットPUに液体給排ユニットを取り付ける。その後、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより、上記実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0173】

また、上記実施形態では、本発明が半導体製造用の露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子、マイクロマシン、有機EL、DNAチップなどを製造するための露光装置などにも本発明は広く適用できる。

【0174】

また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、螢石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。

【0175】

半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

【産業上の利用可能性】

【0176】

本発明の投影露光装置は、半導体デバイスの製造に適している。また、本発明のステージ装置は、液浸法が適用される光学装置の試料ステージとして適している。

【図面の簡単な説明】

【0177】

【図1】本発明の一実施形態に係る投影露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】図1のウエハテーブルを示す斜視図である。

【図3】鏡筒の下端部及び配管系とともに液体給排ユニットを示す断面図である。

【図4】図3のB-B線断面図である。

【図5】液体給排ユニットに、液体が供給された状態を示す図である。

【図6】焦点位置検出系を説明するための図である。

【図7】一実施形態に係る投影露光装置の制御系の構成を一部省略して示すブロック図である。

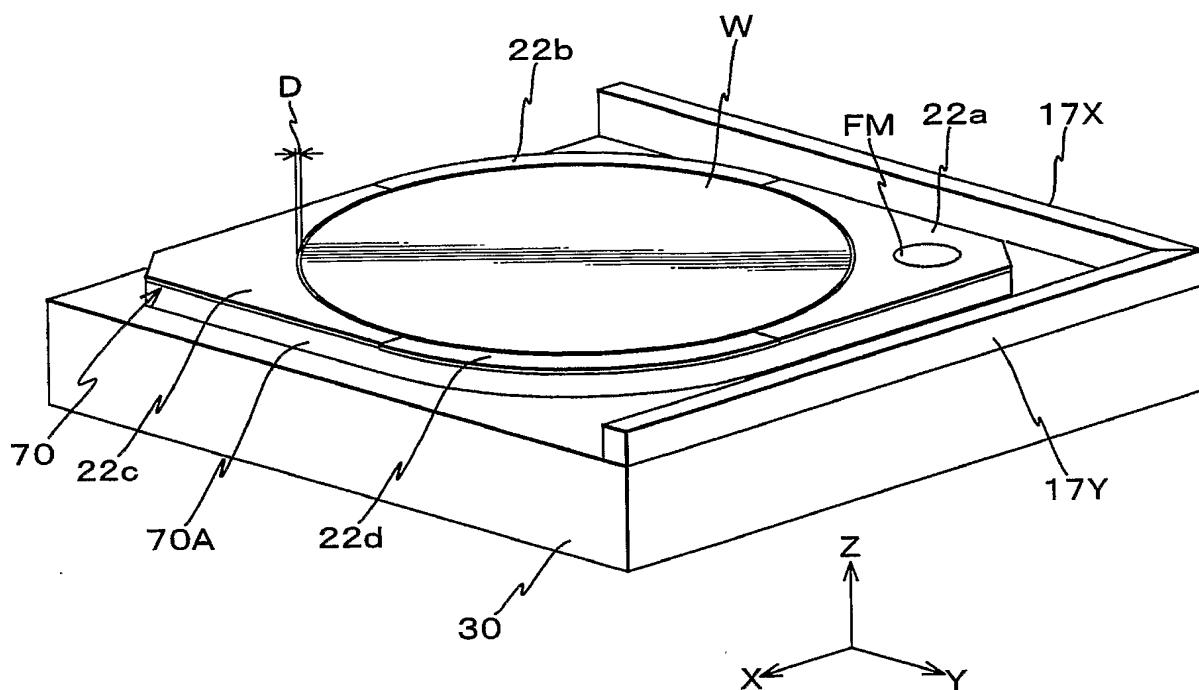
【図8】ステージ制御装置の内部に構築されたウエハステージ制御系を示すブロック図である。

【符号の説明】

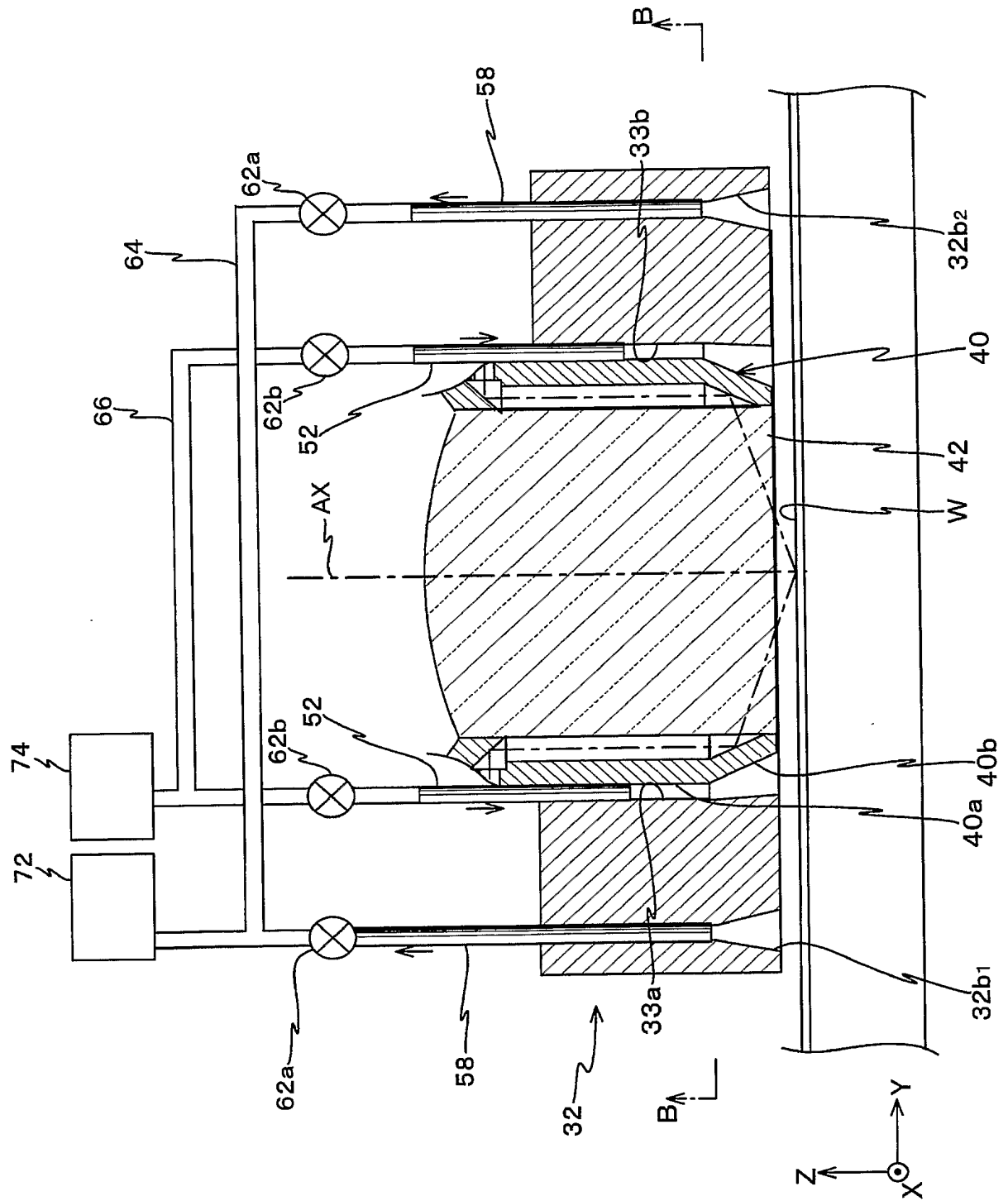
【0178】

18…ウエハ干渉計（位置計測系）、19…ステージ制御装置（補正装置）、30…ウエハテーブル（基板テーブル）、38…補正值生成部（制御装置）、100…投影露光装置、PL…投影光学系、W…ウエハ（基板）、RST…レチクルステージ（マスクステージ）。

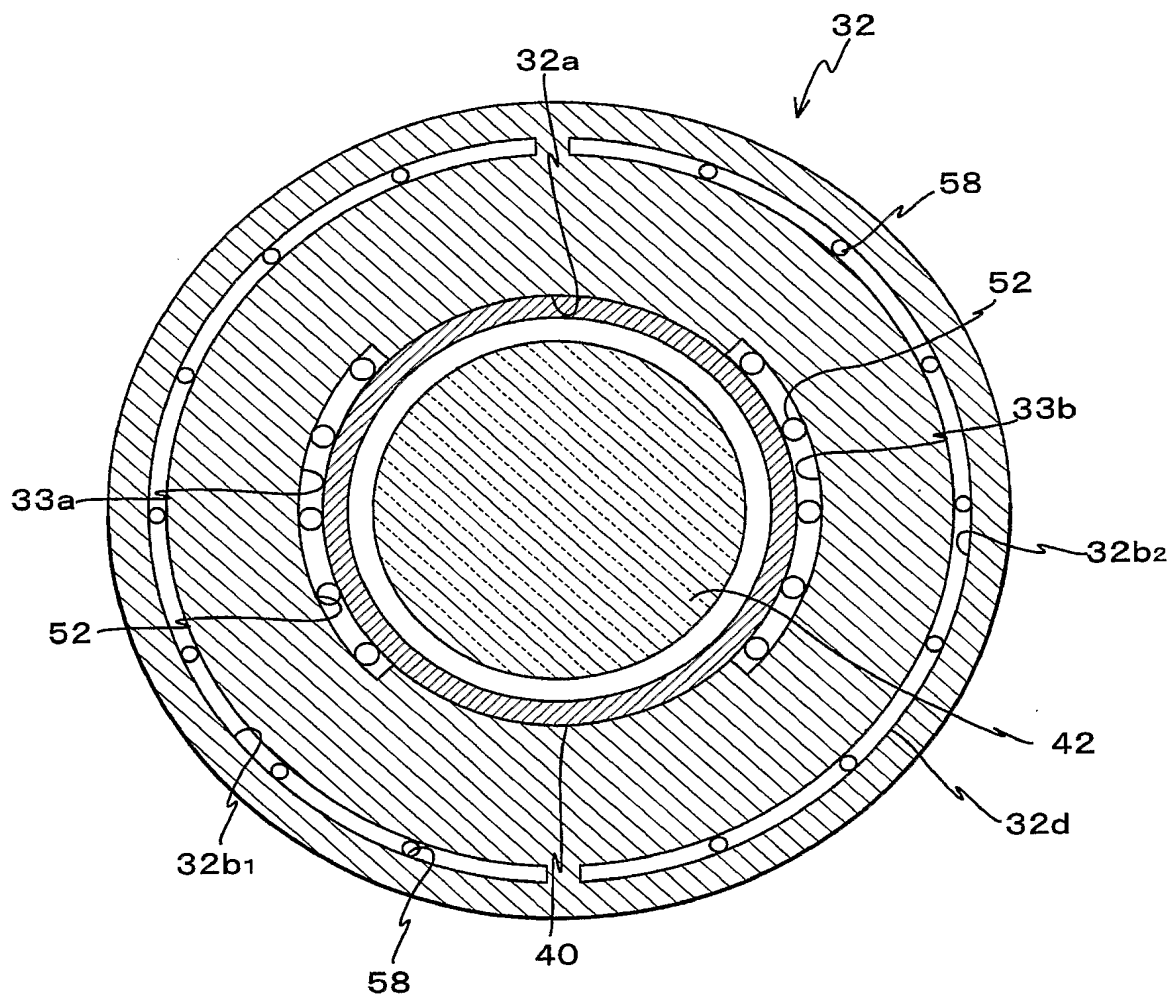
【図 2】



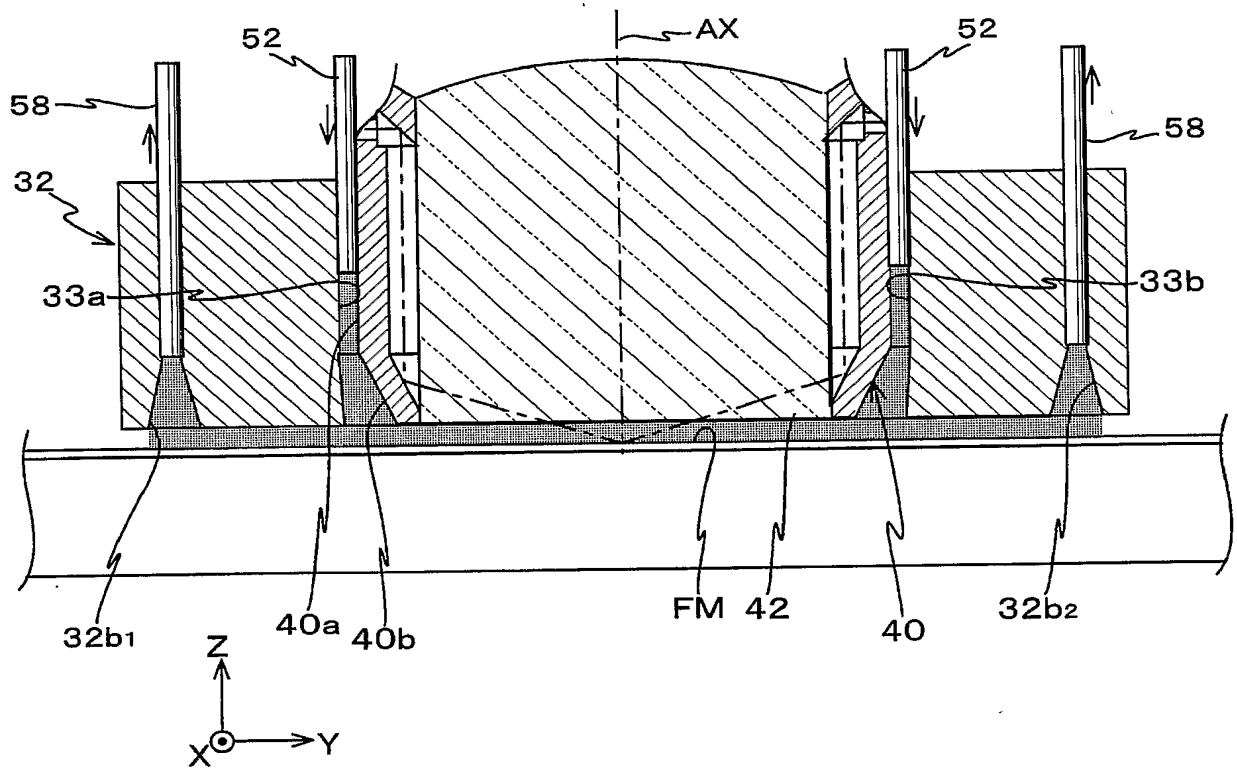
【図 3】



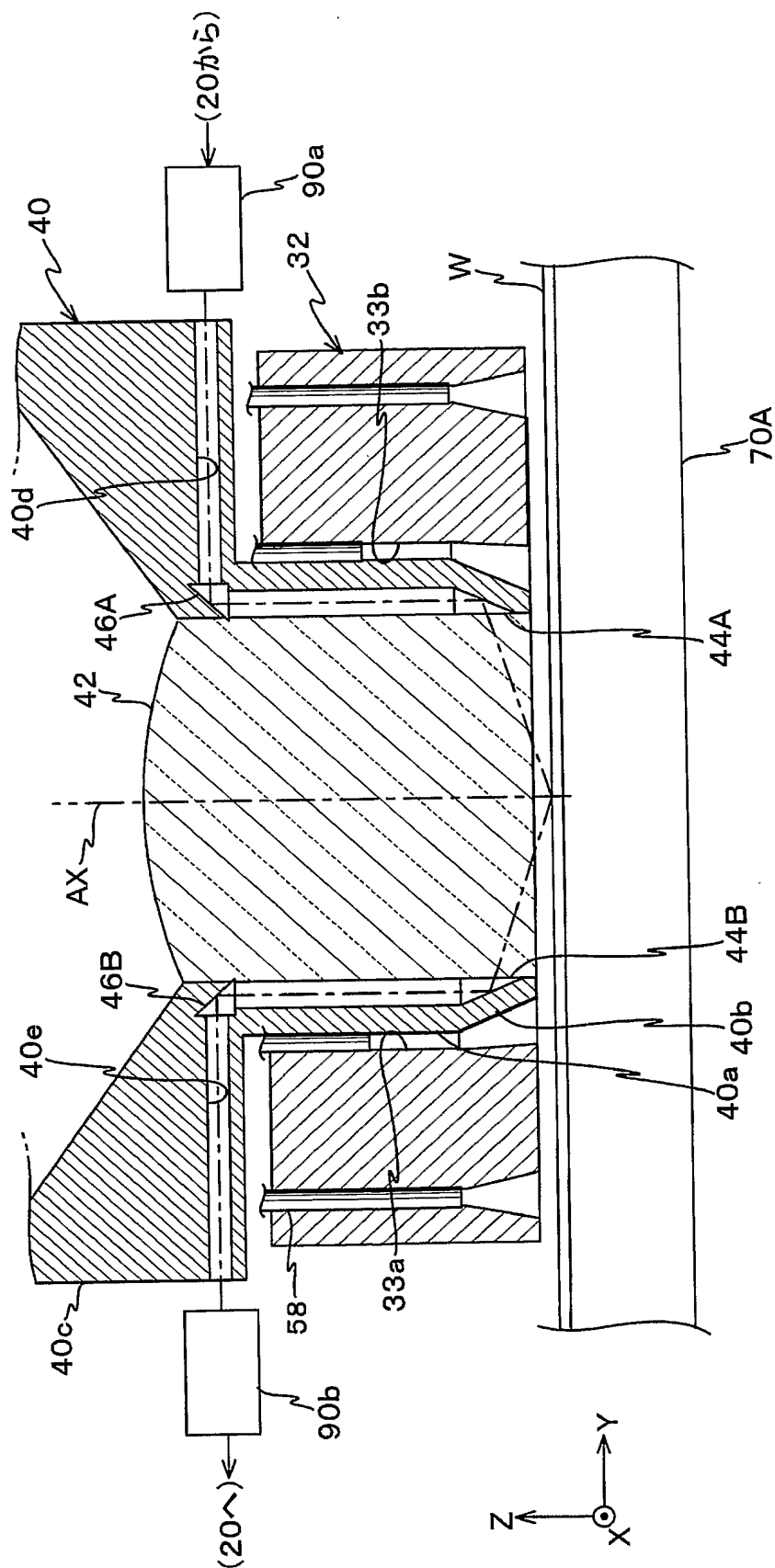
【図 4】



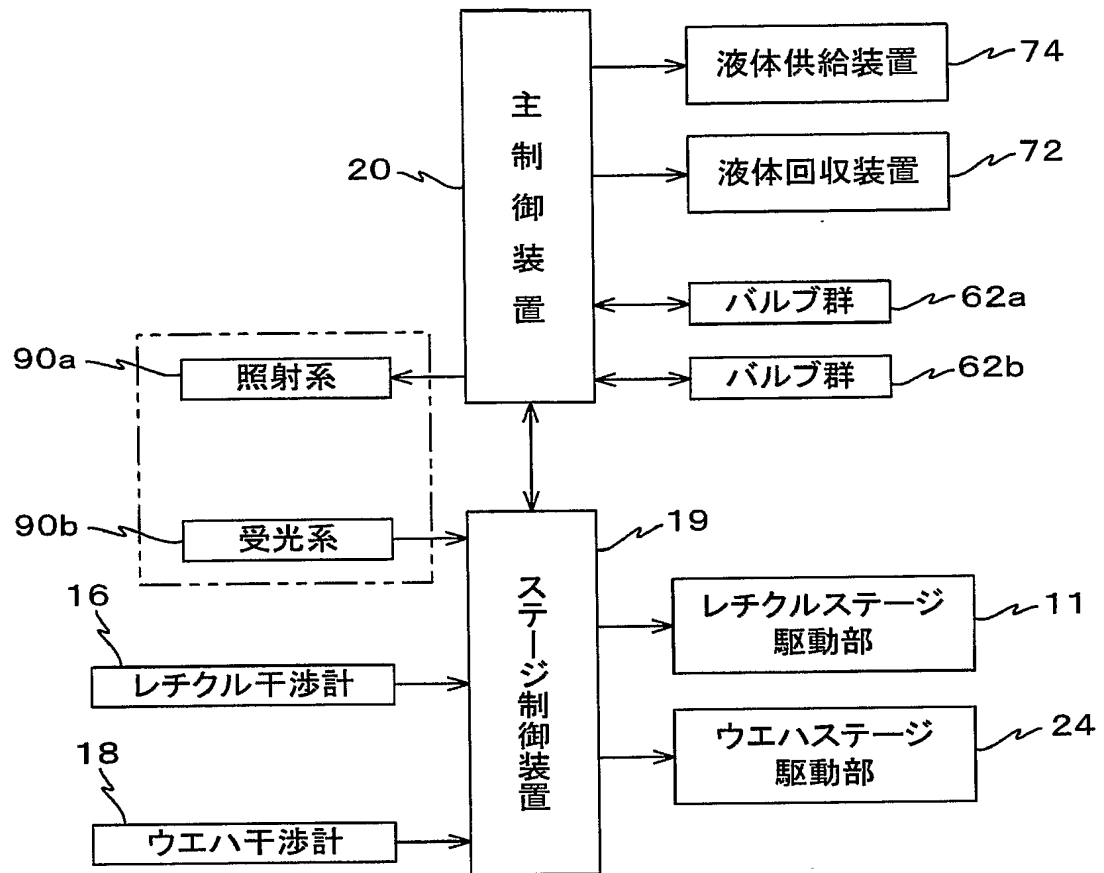
【図 5】



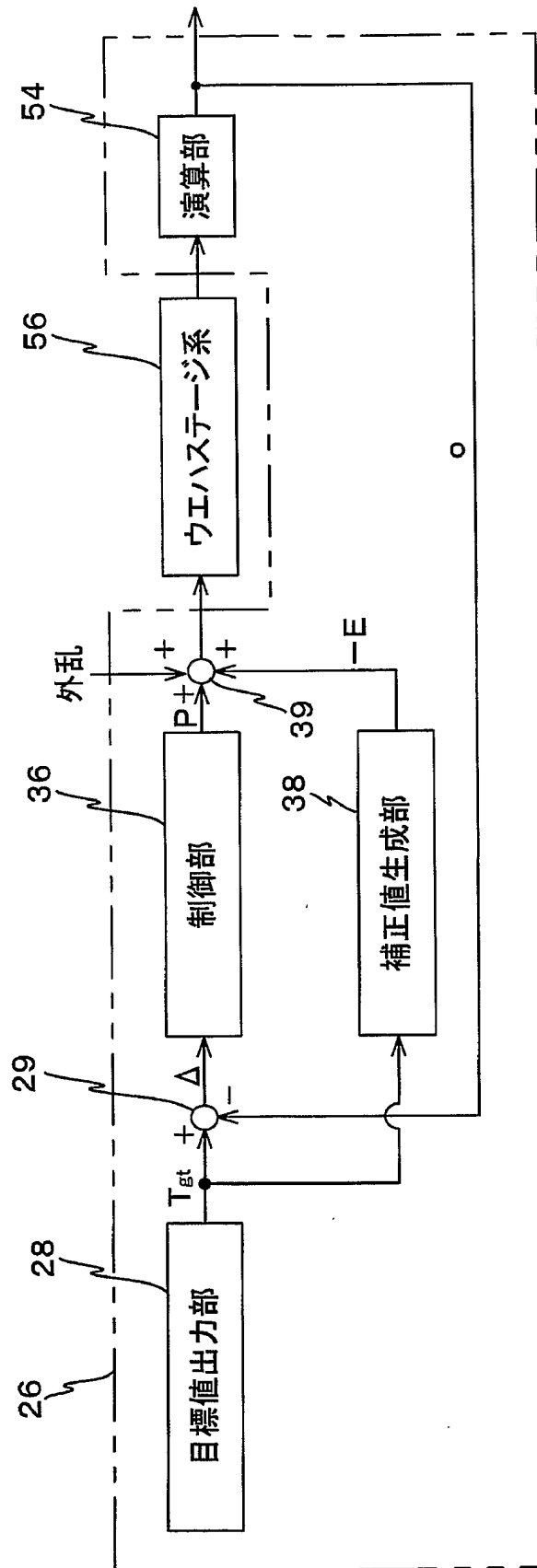
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 基板に対して液浸法を利用した高精度な露光を行う。

【解決手段】 投影露光装置 100 は、基板 W が載置されるとともに、その基板を保持して移動可能な基板テーブル 30 と、基板テーブル 30 の位置情報を計測する位置計測系（18 等）と、液体の供給に起因して基板と基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれを補正する補正装置 19 とを備えている。この場合、補正装置により、液体の供給に起因して基板と基板テーブルとの少なくとも一方に生じる位置ずれが補正される。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 4 1 5 8 9 3
受付番号	5 0 3 0 2 0 5 6 4 1 5
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 5 年 1 2 月 1 6 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成15年12月15日



特願 2 0 0 3 - 4 1 5 8 9 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 1 1 2]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

氏 名

株式会社ニコン